

**ÜBER DEN EINFLUSS KÜNSTLICHER IONISATION
DER LUFT AUF DAS MOTORISCHE VERHALTEN
VON LABORMÄUSEN**

Renate Elsser

1977

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
des Fachbereichs Humanmedizin der Universität München
Lehrstuhl für Physikalische Medizin: Prof. Dr. H. D r e x e l

Die Arbeit wurde eingereicht über das Institut für Tierzucht
und Tierhygiene des Fachbereichs Tiermedizin der Universität
München

Lehrstuhl für Tierhygiene: Prof. Dr. J. K a l i c h

ÜBER DEN EINFLUß KÜNSTLICHER IONISATION

DER LUFT AUF DAS MOTORISCHE VERHALTEN

VON LABORMÄUSEN

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde

des Fachbereichs Tiermedizin

der Ludwig - Maximilians - Universität München

von

Renate Elsser

aus

Gaildorf

München 1977

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Tiermedizin
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. B. Vollmerhaus
Referent: Prof. Dr. H. Drexel / Fachbereich Medizin
der Universität München
Korreferent: Prof. Dr. J. Kalich

Tag der Promotion: 25. Februar 1977



INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1	Einleitung	1
2	Vorbereitung und Aufnahmearbeitung	2
3	Erhebung	3
4	Prüfung der Aufnahmearbeitung	4
5	Erhebung der Aufnahmearbeitung	5
6	Prüfung der Aufnahmearbeitung	6
7	Erhebung der Aufnahmearbeitung	7
8	Prüfung der Aufnahmearbeitung	8
9	Erhebung der Aufnahmearbeitung	9
10	Prüfung der Aufnahmearbeitung	10
11	Erhebung der Aufnahmearbeitung	11
12	Prüfung der Aufnahmearbeitung	12
13	Erhebung der Aufnahmearbeitung	13
14	Prüfung der Aufnahmearbeitung	14
15	Erhebung der Aufnahmearbeitung	15
16	Prüfung der Aufnahmearbeitung	16
17	Erhebung der Aufnahmearbeitung	17
18	Prüfung der Aufnahmearbeitung	18
19	Erhebung der Aufnahmearbeitung	19
20	Prüfung der Aufnahmearbeitung	20
21	Erhebung der Aufnahmearbeitung	21
22	Prüfung der Aufnahmearbeitung	22
23	Erhebung der Aufnahmearbeitung	23
24	Prüfung der Aufnahmearbeitung	24
25	Erhebung der Aufnahmearbeitung	25
26	Prüfung der Aufnahmearbeitung	26
27	Erhebung der Aufnahmearbeitung	27
28	Prüfung der Aufnahmearbeitung	28
29	Erhebung der Aufnahmearbeitung	29
30	Prüfung der Aufnahmearbeitung	30
31	Erhebung der Aufnahmearbeitung	31
32	Prüfung der Aufnahmearbeitung	32
33	Erhebung der Aufnahmearbeitung	33
34	Prüfung der Aufnahmearbeitung	34
35	Erhebung der Aufnahmearbeitung	35
36	Prüfung der Aufnahmearbeitung	36
37	Erhebung der Aufnahmearbeitung	37
38	Prüfung der Aufnahmearbeitung	38
39	Erhebung der Aufnahmearbeitung	39
40	Prüfung der Aufnahmearbeitung	40
41	Erhebung der Aufnahmearbeitung	41
42	Prüfung der Aufnahmearbeitung	42
43	Erhebung der Aufnahmearbeitung	43
44	Prüfung der Aufnahmearbeitung	44
45	Erhebung der Aufnahmearbeitung	45
46	Prüfung der Aufnahmearbeitung	46
47	Erhebung der Aufnahmearbeitung	47
48	Prüfung der Aufnahmearbeitung	48
49	Erhebung der Aufnahmearbeitung	49
50	Prüfung der Aufnahmearbeitung	50
51	Erhebung der Aufnahmearbeitung	51
52	Prüfung der Aufnahmearbeitung	52
53	Erhebung der Aufnahmearbeitung	53
54	Prüfung der Aufnahmearbeitung	54
55	Erhebung der Aufnahmearbeitung	55
56	Prüfung der Aufnahmearbeitung	56
57	Erhebung der Aufnahmearbeitung	57
58	Prüfung der Aufnahmearbeitung	58
59	Erhebung der Aufnahmearbeitung	59
60	Prüfung der Aufnahmearbeitung	60
61	Erhebung der Aufnahmearbeitung	61
62	Prüfung der Aufnahmearbeitung	62
63	Erhebung der Aufnahmearbeitung	63
64	Prüfung der Aufnahmearbeitung	64
65	Erhebung der Aufnahmearbeitung	65
66	Prüfung der Aufnahmearbeitung	66
67	Erhebung der Aufnahmearbeitung	67
68	Prüfung der Aufnahmearbeitung	68
69	Erhebung der Aufnahmearbeitung	69
70	Prüfung der Aufnahmearbeitung	70
71	Erhebung der Aufnahmearbeitung	71
72	Prüfung der Aufnahmearbeitung	72
73	Erhebung der Aufnahmearbeitung	73
74	Prüfung der Aufnahmearbeitung	74
75	Erhebung der Aufnahmearbeitung	75
76	Prüfung der Aufnahmearbeitung	76
77	Erhebung der Aufnahmearbeitung	77
78	Prüfung der Aufnahmearbeitung	78
79	Erhebung der Aufnahmearbeitung	79
80	Prüfung der Aufnahmearbeitung	80
81	Erhebung der Aufnahmearbeitung	81
82	Prüfung der Aufnahmearbeitung	82
83	Erhebung der Aufnahmearbeitung	83
84	Prüfung der Aufnahmearbeitung	84
85	Erhebung der Aufnahmearbeitung	85
86	Prüfung der Aufnahmearbeitung	86
87	Erhebung der Aufnahmearbeitung	87
88	Prüfung der Aufnahmearbeitung	88
89	Erhebung der Aufnahmearbeitung	89
90	Prüfung der Aufnahmearbeitung	90
91	Erhebung der Aufnahmearbeitung	91
92	Prüfung der Aufnahmearbeitung	92
93	Erhebung der Aufnahmearbeitung	93
94	Prüfung der Aufnahmearbeitung	94
95	Erhebung der Aufnahmearbeitung	95
96	Prüfung der Aufnahmearbeitung	96
97	Erhebung der Aufnahmearbeitung	97
98	Prüfung der Aufnahmearbeitung	98
99	Erhebung der Aufnahmearbeitung	99
100	Prüfung der Aufnahmearbeitung	100

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Vorbemerkung und Aufgabenstellung	2
3. Literatur	4
4. Physikalische Grundlagen zur Luftionisation	20
4.1. Theorien zum biologischen Wirkungsprinzip	22
5. Problemstellung	24
6. Eigene Versuche	25
6.1. Vorversuch	25
6.1.1. Methodik	25
6.1.2. Durchführung	30
7. I. Versuch	35
7.1. Verbesserung der Anlage	35
7.1.1. Durchführung	41
7.1.2. Wiederholung des Versuchs	44
7.2. II. Versuch	47
7.3. III. Versuch	49
7.4. IV. Versuch	52
7.5. Kontrollversuch	54
8. Diskussion	56
9. Zusammenfassung	62
10. Summary	63
11. Literaturverzeichnis	64

1. Einleitung

Seit man luftelektrische Faktoren in der Atmosphäre messen kann, werden diese immer wieder in Beziehung zu Schwankungen des Befindens und der Gesundheit des Menschen gesetzt.

Zu diesen luftelektrischen Faktoren gehören statische Felder, elektromagnetische Wellen der verschiedensten Frequenzen, sowie korpuskuläre luftelektrische Elemente: die Ionen.

Über die Luftionen existieren eine Reihe zumeist tierexperimenteller Arbeiten. Wenngleich die meisten Untersuchungsergebnisse, einzeln gesehen, eine biologische Relevanz von Ionen nahe legen, so sind die Ergebnisse der Autoren jedoch so widersprüchlich, daß diese Relevanz bis heute nicht als gesichert gelten kann. Dennoch werden aufgrund nicht gesicherter Ergebnisse kommerzielle Konsequenzen gezogen. So werden einem leicht ansprechbaren Publikum Geräte zur negativen Ionisierung angeboten mit dem Versprechen, daß dadurch optimale luftelektrische Bedingungen hergestellt werden, welche damit zur Verbesserung des Wohlbefindens, der Gesundheit und des Leistungsvermögens führen sollen.

Mit dieser Arbeit soll versucht werden einen Beitrag zur besseren Beurteilung der biologischen Relevanz künstlicher Luftionisation zu leisten.

2. Vorbemerkung und Aufgabenstellung

Die im Folgenden beschriebenen Versuchsergebnisse sind Teilergebnisse einer tierexperimentellen Studie zur Erforschung der biologischen Relevanz verschiedener luftelektrischer Faktoren, geleitet von Dr. P. K r ö l i n g . Untersucht werden sollten u.a. elektrische Gleichfelder, elektrische Wechselfelder, elektromagnetische Wellen verschiedener Frequenz, magnetische Felder und Luftionen.

Technische Konzeption, wissenschaftliche Beratung und statistische Bearbeitung der Daten erfolgte durch Herrn akad. Dir. Dipl. Phys. K. D i r n a g l. Die technische Entwicklungsarbeit und - Realisation wurde von Herren Dipl. Ing. G.

P r a m l in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Elektronik der TU München unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. J. E i c h m e i e r geleistet. Die zahlreichen mechanischen Probleme wurden durch Herren A. T a f e r n e r gelöst.

Die Aufgabe der Verfasserin, welche zu dem Projekt während des Vorversuchs-Stadiums stieß, bestand neben der allgemeinen Mithilfe an der Entwicklungsarbeit wesentlich in Folgendem:

1. Analyse der bestehenden Literatur zum Thema Luftionen nach den Gesichtspunkten:
 - welche biologische Relevanz wird Luftionen zugesprochen?
 - welche Aussagekraft haben einzelne Arbeiten unter Berücksichtigung allgemeingültiger wissenschaftlicher Kriterien?
 - welche Meßparameter erscheinen tierexperimentell am aussichtsreichsten für eigene Versuche?
 - wie lassen sich eigene Ergebnisse mit denjenigen aus der Literatur vergleichen?

2. Durchführung von Vorversuchen zur Ermittlung von Fehlerquellen und Verbesserungsmöglichkeiten.
3. Gewinnung eigener experimenteller Ergebnisse mit Hilfe der im Rahmen des Projektes entwickelten automatischen Versuchsanlage.

3. Literatur

Luftelektrischen Faktoren werden seit mehr als 200 Jahren biologische Effekte zugesprochen. So berichtete bereits im Jahre 1748 A b b é N o l l e t (53) in seinen Mitteilungen an die Pariser Akademie über Wirkungen der elektrischen Kraft auf organische Körper. Er untersuchte die Reaktion der Keimung von Pflanzensamen und das Wachstum junger Pflanzen auf elektrische Bedingungen, wenn diese in metallenen Gefäßen direkt elektrisiert oder nur in die Nähe geladener Teilchen gebracht werden; in beiden Fällen ergab sich eine Beschleunigung der Keimung, bzw. des Wachstums. Bei Versuchen mit verschiedenen Tierarten wie z.B. Katzen, Tauben und Fliegen beobachtete er eine Verminderung des Gewichts, verursacht durch eine Steigerung der Transpiration gegenüber Kontrolltieren; je kleiner die Körpergröße der jeweiligen Tierart war, um so größer war der Effekt.

A n d r e a s K i r c h v o g e l (32) führte 1767 Selbstversuche durch und fand auf einem Pechkuchen stehend, daß bei positiver Elektrizität die Frequenz des Pulses nach 5 Minuten um 14 Schläge zugenommen, bei negativer Elektrizität um ungefähr ebensoviel abgenommen hatte; nach dem Heruntersteigen von der Isoliervorrichtung normalisierte sich der Puls in der gleichen Zeitspanne wieder.

Im Jahre 1777 gewann A b b é B e r t h o l o n (10) den ersten Preis eines von der Akademie in Lyon ausgeschriebenen Wettbewerbs, der den Einfluß der Elektrizität auf Krankheiten zum Thema hatte. Er ging davon aus, daß an der Existenz einer atmosphärischen Elektrizität infolge der vorausgegangenen Beobachtungen kein Zweifel bestehen könne.

Seiner Meinung nach sind die atmosphärische und die künstliche durch die Elektrisiermaschine erzeugte Elektrizität identisch. Durch Experimente mit Pflanzen gelangte er zu der Ansicht, daß die Vegetation an solchen Orten kräftiger sei, wo man eine intensivere natürliche Elektrizität annehmen könne. Dies gelte aber nur für positive Elektrizität, während er der negativen einen schädigenden Einfluß zuschreibt, indem diese die Pflanzen in all ihren Funktionen schädige und schwäche.

1899 brachten E l s t e r und G e i t e l (23) die Forschung mit ihrer Feststellung einen Schritt weiter voran, daß die Atmosphäre eine Leitfähigkeit besitzt, die durch kleine Teilchen, genannt Ionen, verursacht wird.

Zuerst als Klimafaktoren diskutiert wurden die Luftionen 1901 von A s c h k i n a s s und C a s p a r i (5). Letzterer vermutete in einer Abhandlung über die Berg-Krankheit im Monte-Rosa Gebiet, daß diese durch eine starke Ionisation mit einem 4mal höheren Anteil an positiven Ionen verursacht werde.

S c h o r e r (62) veröffentlichte 1928 Versuchsergebnisse zu der Hypothese, daß das Wohlbefinden des Menschen in einer Beziehung zur Luftelektrizität stehe. Aus 500 Messungen ergab sich, daß Störungen im Wohlbefinden auftreten, wenn die negativen Elektrizitätsträger gegenüber der positiven vermehrt sind. Dieses Ergebnis steht scheinbar im Gegensatz zu denen anderer Wissenschaftler, die eine Befindenssteigerung unter dem Einfluß der negativen Ionen feststellten. Wie sich jedoch herausstellte, verwendete S c h o r e r eine andere Terminologie, so daß bei Gebrauch der

neute üblichen Terminologie Übereinstimmung im Ergebnis besteht.

Die Untersuchungen T s c h i j e w s k y s (69) im Jahre 1930 erweckten großes Interesse, da seine Ergebnisse auch praktische Verwendungsmöglichkeiten eröffneten. Er vertrat die Ansicht, daß ionisierte Luft eine heilende Wirkung sowohl auf die Lungentuberkulose des Menschen als auch auf die des Tieres ausübt. Die Tiere zeigten unter Ioneneinfluß ein rascheres Wachstum und stärkere Gewichtszunahme. Ebenso war deren Nachkommenschaft gesünder als die der Kontrolltiere. Beim Menschen stellte er nicht nur ein Schwinden des Hustens und eine Verringerung der Expektoration fest, sondern auch ein Verschwinden der Bazillen aus dem Sputum.

weitere Experimente bezüglich der Bewegungsaktivität und des Sexualtriebes führte T s c h i j e w s k y mit Ratten durch, wobei negativ ionisierte Luft in beiden Fällen eine Steigerung ergab. 1934 brachte er eine zusammenfassende Darstellung (70) seiner bisherigen Arbeiten heraus, in der er folgende Theorie entwickelte: Ionen entfalten ihre Wirkung durch eine elektrische Aufladung des Lungenendothels. Von hieraus werden die Blutkörperchen durch Induktion geladen, wobei eine negative Ladung die natürliche Aufladung derselben vergrößert und umgekehrt. Über die Blutbahnen wird dann die elektrische Ladung in die einzelnen Gewebsbezirke gebracht, wodurch u.a. das Blutbild, der Blutdruck und das Atemsystem, nicht dagegen das Nervensystem beeinflußt werden.

1931 veröffentlichte D e s s a u e r eine Publikation (16), die eine zehnjährige Forschungsarbeit zusammenfasste. Darin wird als Kernpunkt ein Generator beschrieben, mit dem

Ionen in hohen Konzentrationen und beiderlei Polarität erzeugt werden können. D e s s a u e r untersuchte u.a. geistige Fähigkeiten, wie beispielsweise die Konzentration beim Lesen von Zahlen, die sich unter dem Einfluß von negativen Ionen deutlich erhöhte.

E d s t r ö m (18) kam 1932 zu den folgenden Ergebnissen: Die Einatmung negativ beladener Luft ruft eine Abnahme der Chronaxie der motorischen Nerven und somit eine Erhöhung der Erregbarkeit hervor. Dagegen bedingt die Einatmung einer mit positiven Ionen beladenen Luft eine Zunahme der Chronaxie motorischer Nerven, also eine Senkung der Erregbarkeit; weiterhin sollen positive Ionen eine Vaguslähmung, negative eine Vagusreizung bewirken.

Von J e n n y , O e h l e r und S t a u f f e r (30) liegen aus dem Jahre 1935 Untersuchungen über das Verhalten und die Tumorentwicklung von Mäusen vor. Den Tieren wurde ein Käfig angeboten, der zur Hälfte mit Ionen bestrahlt wurde. Schon nach Ablauf einer, manchmal erst nach mehreren Wochen zeigte sich, daß die Tiere eindeutig den unbestrahlten Teil des Käfigs dem bestrahlten vorzogen und sich dort einrichteten. Bei je 100 mit einem karzinogenen Teer behandelten Mäusen stellte sich bei den bestrahlten Tieren eine beschleunigte Tumorentwicklung ein, die einen früheren Tod zur Folge hatte.

Seit Beginn der sechziger Jahre wurde eine Reihe von Versuchen durchgeführt, die die Frage der biologischen Wirksamkeit der Luftionen zum Thema hatten und die Widersprüche der vorausgegangenen Arbeiten klären sollten, was leider bis

heute nicht in befriedigendem Maße gelang.

Viel beachtet wurden die in den Jahren 1966-1970 von K r u e g e r und Mitarbeitern (39-47, 49) veröffentlichten Arbeiten. Eine der Versuchsreihen sollte Auskunft über den Einfluß von Ionen auf den Serotoninspiegel geben. Dazu wurden Mäuse in Käfigen, in kontrolliertem Klima, für die Dauer von 12, 24, 48 und 72 Stunden positiven und negativen Ionen von der Konzentration $2-4 \times 10^3$, $3-4 \times 10^4$ und $3,5-5 \times 10^5$ Ionen pro cm^3 ausgesetzt. Nach 12 Stunden konnte im Gehirn der mit Ionen behandelten Tiere nachgewiesen werden, daß sich statistisch signifikante Unterschiede im Vergleich zu den unbehandelten Kontrolltieren ergaben. Nach länger andauernder Bestrahlung, d.h. nach 24 und 48 Stunden ergaben sich keine Unterschiede mehr; nach 72 Stunden dauernden Exposition war jedoch mit Ausnahme der Konzentration von $3-4 \times 10^4$ Ionen pro cm^3 Luft ein starker Abfall des Serotoninspiegels erkennbar.

Diese Ergebnisse K r u e g e r s im Tierversuch regten die Humanmedizin zur Prüfung der Frage an, ob Veränderungen in der Stimmung und im Befinden des Menschen bei bestimmten meteorologischen Bedingungen, wie z.B. dem Föhn, von durch Luftionen induzierten Veränderungen des Serotoninspiegels abhängen. Daß die Ionenkonzentration einen relevanten biologischen Faktor darstellt, konnte die K r u e g e r - Gruppe zeigen, indem sie Luft mit der Konzentration von $1-2 \times 10^5$ positiven Ionen pro cm^3 (Tritium-Generator) auf Mäuse einwirken ließen, die mit bekannten Mengen Klebsiella pneumoniae und PR 8 Influenzavirus okkultiert waren. Bei den behandelten Mäusen war die Todesrate im Vergleich zu den Kontrolltieren signifikant erhöht. Die mit negativen

Ionen in einer Konzentration von $3,7 \times 10^6$ pro cm^3 Luft behandelten Tiere zeigten eine niedrigere Todesrate als bei unbehandelten, wobei der Unterschied aber nicht signifikant war.

Schließlich interessierte noch der Effekt von Luftionen auf den Krankheitsverlauf. Es stellte sich heraus, daß hohe Konzentrationen negativer Ionen oder niedrige Konzentrationen gemischter Ionen mit Überwiegend negativer Polarität eine erniedrigte Mortalität zur Folge hatten. Erhöht wurde die Mortalität durch unipolare niedrigere Konzentrationen sowohl positiver als auch negativer Ionen, während eine mittlere Konzentration aus beiden Polaritäten wirkungslos blieb.

Es seien noch Experimente dieser Wissenschaftler mit Seidenraupeneiern in positiv und negativ ionisierter Atmosphäre erwähnt. Zusammenfassend ergab sich:

1. Ein früherer Beginn der Verpuppung
2. Ein deutlicher Anstieg der Larvenwachstumsrate
3. Vermehrte Biosynthese von Katalase, Peroxydase und Zytochrom C - Oxydase
4. Ein früheres Verspinnen und
5. Ein signifikanter Anstieg im Kokongewicht.

Der Ioneneinfluß auf die Ziliarfrequenz des Tracheaepithels wurde von mehreren Autoren untersucht. Die erste diesbezügliche Veröffentlichung erschien 1958 von K r u e g e r und S m i t h (48). Als Versuchstiere dienten Kaninchen. Die Autoren kamen zu folgendem Ergebnis: durch positive Ionen wird die Ziliarfrequenz herabgesetzt, induziert durch eine Vasokonstriktion der Tracheawand und eine verstärkte Respirationsquote. Bei negativen Ionen erhöhte sich die Ziliarfrequenz und erniedrigte sich die Respirationsquote.

1965 führte ein Team der französischen Marine (50) diesen Versuch nochmals durch. Dabei waren Ionenquelle, Tierart und Aufbau des Versuches vergleichbar, nur die Registrier-technik unterschied sich. Dennoch konnten die Wissenschaftler in keiner Weise die Ergebnisse K r u e g e r s bestätigen. Selbst bei Ionenkonzentrationen von 1×10^9 Ionen pro cm^3 Luft beider Polaritäten konnte weder ein Einfluß auf die Ziliarfrequenz noch auf die Respirationsquote ermittelt werden.

A n d e r s e n (4) beschäftigte sich als dritter 1969 mit dieser Thematik. Er verwendete ebenso wie die Franzosen den K r u e g e r ' s c h e n Versuchsaufbau, nahm aber im Gegensatz zu diesen auch die Registrierung wie K r u e g e r nach der Stroboscopic-Methode vor. Die Ionenkonzentrationen beider Polaritäten lagen zwischen 1×10^2 und $2,5 \times 10^5$ Ionen pro cm^3 Luft. A n d e r s e n veranschlagte als Versuchsdauer 3 Stunden, in denen er alle 15 Minuten eine Messung vornahm. Aber auch er konnte mit den Ergebnissen K r u e g e r s keine Übereinstimmung erzielen. Als Kritik an dessen Arbeit führte er das Fehlen eines Kontrollversuches an und zog andere Faktoren wie beispielsweise Luftfeuchtigkeit und Temperatur für die unterschiedlichen Ergebnisse in Betracht.

Die Folge einer intranasalen Applizierung von Ionen bei der Ratte untersuchte 1965 B a c h m a n n (7). Die wirkliche Ionendosis wurde aus dem elektrischen Stromfluß durch das Tier in die Erde berechnet. Positive und negative Ionen bewirkten eine Anregung der Herzschlagfolge und der Atemfrequenz; die erforderliche Dosis war individuell verschieden.

Den Einfluß von Ionen auf die Aktivität der Ratten hatte im Jahre 1966 eine Arbeit der B a c h m a n n - Gruppe (8) zum Thema. Die Tiere befanden sich in Kammern mit einem beweglichen dielektrischen Boden für die Registrierung der motorische Aktivität und 6 andere Verhaltensformen, wie z.B. Schlafen, Atmen und den Grad der Angriffslust. Der Versuch wurde mit 99 in 9 Gruppen eingeteilten Tieren durchgeführt, wobei je 3 Gruppen positiv ionisierter, negativ ionisierter und neutraler Luft ausgesetzt wurden. Die Ionenkonzentrationen wurden in die 3 Gruppen hoch, mittel und niedrig gegliedert und lagen zwischen $1,5-200 \times 10^3$ Ionen pro cm^3 . Es stellte sich heraus, daß die niedrigste negative Ionenkonzentration am wirksamsten zur Anregung der Aktivität war. Als Beispiel für die durch Ionen veränderbaren Verhaltensformen soll hier der Einfluß positiver Ionen erwähnt sein, die die Angriffslust stark erhöhten.

1965 berichtet D e l e a n u (14) über Versuche an Ratten, bei denen Magen-Ulzera provoziert wurden, indem man sie entweder hungern ließ oder 15-24 Tage lang mit Reserpin (2-4 mg/Kg) behandelte. Ein Teil der Tiere wurde während dieser Perioden täglich 2 Stunden ionisierter Luft ($5 - 15 \times 10^3$ Ionen pro cm^3 Luft) exponiert. Es zeigte sich, daß die Ulzera-Rate bei den mit Reserpin behandelten Tieren 83% betrug, bei den unbehandelten Hungertieren 93%. In beiden Fällen erreichte die Rate aber nach zusätzlicher Behandlung mit ionisierter Luft nur 45%.

Aufgrund dieses aufsehenerregenden Ergebnisses fand dieser Versuch in der Folgezeit Anwendung in der Humanmedizin.

66 Patienten mit Magen- oder Darm-Ulzera wurden 12-15 Tage lang 15-45 Minuten täglich mit $5-10 \times 10^3$ negativen

Ionen pro cm^3 behandelt. In 38 Fällen waren nach der Behandlung der Schmerz und die anderen Begleitsymptome abgeschwächt oder verschwunden.

Die Forschergruppe D e l e a n u untersuchte später die Einwirkung der negativen Luftionentherapie bei jugendlichen Bluthdruckkranken (15). Die Ionisierung wurde durch elektrische Entladung oder durch Zerstäuben von destilliertem Wasser erreicht. Nach 3 Wochen dauernder Behandlung mit $5-8 \times 10^3$ negativen Ionen pro cm^3 Luft pendelten sich die Maxima und Minima auf normale Werte ein. Allerdings mußte dieser Versuch, bei dem die Ionenproduktion schon sehr fragwürdig erscheint, angeblich wegen Ferien der Versuchspersonen frühzeitig beendet werden.

T e r r y et al (68) stellten 1969 Untersuchungen an, deren Gegenstand es war, ob negative Ionen ausschlaggebend für ein besseres Lernvermögen bei Ratten sein könnten. Dabei wurde folgender Versuchsaufbau gewählt: um 9 Uhr Trainingsbeginn im Käfig unter Normalbedingungen, 13 Uhr Schwimmübungen und 14-19 Uhr Ioneneinfluß mit 3 verschiedenen Konzentrationen: 1. nicht messbar, 2. 7×10^6 negative Ionen pro cm^3 und 3. $3,7 \times 10^7$ negative Ionen pro cm^3 . Die Wirkung wurde an der Schwimmzeit und dem sogenannten Lasley-Links-Rechts-Labyrinth geprüft. Dabei machten die männlichen Ratten bei negativ ionisierter Luft weniger Fehler, bei den weiblichen Ratten konnte aber weder im Labyrinth noch im Schwimmversuch ein Unterschied durch Ioneneinfluß ermittelt werden.

Ebenfalls im Jahre 1969 beschäftigte sich P o g r u n d (57) mit positiven Ionen. Als Versuchstiere wurden wiederum Ratten verwendet, die zunächst einer Konzentration

von 200 ppm CO und später einer Mischung von Luft mit einem hohen Anteil an positiven Ionen (Tritium-Generator) ausgesetzt wurden. Das Experiment erstreckte sich über 2 Monate, wonach die Wachstumsrate bei CO-exponierten Tieren signifikant verlangsamt war, obwohl sich die Futter- und Wasseraufnahme kaum von der der Kontrolltiere unterschied. Nach dem Einsatz der positiven Ionen wurde die Entwicklungshemmung noch verstärkt.

S t r a u s s (65) verwendete 1970 als Meßparameter für die Ionenwirkung die Länge des Oestruszyklus von Ratten. Bei 20 ausgewachsenen weiblichen Ratten mit einem verlängerten und unregelmäßigen Zyklus (13 ± 10 Tage) wurde nach 25 Tagen einer täglich 1-stündigen Behandlung mit negativen Ionen die Zykluslänge auf 6 ± 3 Tage reduziert.

1973 fand G i l b e r t (26) wie schon zuvor K r u e g e r einen Zusammenhang zwischen dem Serotoningehalt im Gehirn und dem Wohlbefinden. 24 in 3 Gruppen unterteilte Albino-ratten wurden in einem Käfig untergebracht, wo sie negativen Ionen in Konzentrationen von $5-30 \times 10^2$ Ionen pro cm^3 Luft ausgesetzt wurden. Nach 170 Tagen kam er zu dem Ergebnis, daß die Emotionalität und der Serotoninspiegel der mit Luftionen behandelten Tiere herabgesetzt war. Bei der Kontrollgruppe der nicht ionisierten Tiere fand er dagegen gesteigerte emotionale Reaktionen der Ratten bei dem Versuch, sie mit der Hand zu fassen, die er auf die Isolierung zurückführte und die sich auch in einer verminderten Aktivität äußerte.

O l i v e r e a u hat eine Reihe von Arbeiten zum Thema Ionenwirkung publiziert, von denen hier zwei beschrieben

werden sollen (54 + 55).

Zunächst untersuchte er 1960 das Anpassungsvermögen männlicher Ratten in einem psycho-physiologischen Test während einer Zeitspanne von 7 - 9 Wochen. Die Tiere hingen dabei an einem Ring über einem Becken mit kaltem Wasser. Bereits nach kurzer Behandlung mit negativen Ionen ($1,5 \times 10^5$ Ionen pro cm^3 Luft für die Dauer von 20 Minuten) ließen sich die zuvor sehr ängstlichen Ratten schneller fallen; die Haftzeit am Ring war signifikant verkürzt. Von O l i v e r e a u wurde dies als "anxiolytischer" Effekt interpretiert, an dem Serotonin beteiligt sein soll.

In einer anderen Versuchsreihe im Jahre 1973 bestand das Versuchstierkollektiv aus 2×25 männlichen Ratten, wobei jede Gruppe zweimal pro Tag 15 Minuten lang einer negativen Ionisation der Konzentration von 2×10^5 Ionen pro cm^3 Luft ausgesetzt wurde. Hier fand er eine Vermehrung des kolloidalen Materials des Hypophysenzwischenspaltes.

Ein Jahr zuvor hatte der Japaner M i u r a eine Arbeit publiziert (52), die einen Humanversuch zum Inhalt hatte. Bei Temperaturen von entweder 21°C , 25°C oder 29°C , einer Luftfeuchtigkeit von 50 - 60% und drei verschiedenen Ionenkonzentrationen bis zu 5×10^4 - 8×10^4 Ionen pro cm^3 Luft führten 4 Männer zwei Stunden lang in einem geschlossenen Raum geistige Arbeit durch. Objektiv meßbare Parameter wie Rektaltemperatur, Hauttemperatur, Pulsschlag, Blutdruck, Atemfrequenz und der elektrische Hautwiderstand blieben unbeeinflusst, während die Probanden bei einer Zimmertemperatur von 29°C und einer hochkonzentrierten Anwendung von positiven Ionen ein erhöhtes Wärme- und Wohlbefinden konstatierten. Auf Müdigkeit, Kopfschmerzen und Feuchtig-

keitsempfindlichkeit hatten die Ionen keine Auswirkung.

Sehr vage Angaben machte H a i n e (27) in einer im Forschungsbericht des Landes Nordrhein - Westfalen erschienenen Abhandlung. Sie stellte Häutungsvorgänge von Insekten in Relation zu Ionenkonzentrationswechsel. Danach war nach künstlich negativ ionisierter Luft eine Häutungszunahme zu beobachten, die ebenso nach plötzlichem starkem Anstieg negativer Ionenkonzentrationen wie nach drastischer Reduktion hoher positiver Ionenkonzentrationen auftrat.

Mit Bienen operierten im Jahre 1971 A l t m a n n und W a r n e c k e (3), als sie die Aktivitätsänderungen dieser Insekten unter dem Einfluß positiv oder negativ ionisierter Luft untersuchten. Dabei verwendeten sie als Aktivitätsparameter die Lautäußerungen der Tiere. Es stellte sich heraus, daß die Bienen unter den abschirmenden Bedingungen des Faraday-Käfigs weniger aktiv waren, jedoch eine sofortige Reaktion auf negative und positive Ionen durch Vergrößerung der Flügelschlagamplitude und der Laufaktivität zeigten.

Im Widerspruch zu den Ergebnissen vieler anderer Autoren stand dasjenige von S t r u p p l e r 1969 (65) veröffentlichte Resultat seiner Forschungen, wonach Ionen überhaupt nur bei Mundatmung wirken können, da sich die Ionen im Falle der Nasenatmung aufgrund des im Gesicht herrschenden elektrischen Feldes entladen würden. Sein Untersuchungsobjekt war der Achillessehnenreflex des Menschen. Er beobachtete eine Abnahme der Reizwirkung auf die Muskelspindel des Musculus gastrocnemius nach Einatmung negativer Ionen und einer bestimmten Latenzzeit.

Zwei Veröffentlichungen von V a r g a (71 + 72) aus den Jahren 1968 und 1972 beschäftigte sich mit dem Einfluß der Luftionen auf die Pulsfrequenz.

Unter dem Einfluß einer von einer Krypton-Quelle erzeugten Ionendichte von 10^6 Ionen pro cm^3 Luft wurde die Herzfrequenz aufgezeichnet. Sowohl bei positiven als auch bei negativen Ionen sank die Frequenz um 3,6% bzw. 3,0%. Hieraus schloss er einen von Ionen indizierten Beruhigungseffekt.

In einer anderen Versuchsserie testete er den Zusammenhang zwischen der Sauerstoffaufnahme und den Ionen. Dabei verwendete er eine Klimakammer, in der Probanden wahlweise über den Mund Ionen der Konzentration von 3×10^3 Ionen pro cm^3 Luft zugeführt wurden. Es schälten sich dabei zwei unterschiedlich reagierende Gruppen heraus, wobei bei der einen ein erhöhter Sauerstoffgehalt des Blutes nachgewiesen werden konnte, während die andere Gruppe keine Reaktion zeigte. Raucher fielen dabei ausnahmslos in die zweite Gruppe. Wahrscheinlich im Zusammenhang mit der Sauerstoffgehaltszunahme steht der ebenfalls beobachtete Effekt der Abnahme der Pulsfrequenz unter dem Ioneneinfluß.

Die Dissertation des Tiermediziners S c h l e y (61) aus dem Jahre 1972 hat die Beeinflußbarkeit von Mikroorganismen zum Thema. Als Ionenquelle dienten mit Nadeln besetzte sternförmige an einem Abstrahlschirm angebrachte Elektroden, die mit Gleichspannungen von 10 - 15 Kv gespeist wurden. Bei Konzentrationen, die höher als 6×10^6 Ionen pro cm^3 Luft lagen und einer Expositionsdauer von zehn Stunden konnte keine keimabtötende Wirkung registriert werden. Geringfügig stellte sich diese nach 24-stündiger Bebrütung ein.

Ausführliche Untersuchungen aus den Jahren 1963 - 64 liegen auch von E i c h m e i e r (19 - 21) vor. Von einer Tritium - Quelle erzeugte Ionen der Dichte von 10^6 Ionen pro cm^3 Luft bewirkten bei Einatmung durch den Mund einen Rückgang der Atemfrequenz um durchschnittlich 12%.

Desweiteren konnte er zeigen, daß sich ein wechselndes Ein- und Ausschalten der Luftionisation bei 10 - 45% der Versuchspersonen in einer Änderung der Alpha-Frequenz des EEG's manifestierte (wache, mit geschlossenen Augen ruhende Person).

Außerdem beobachtete er eine Reaktion der Pulsfrequenz auf Ionen beiderlei Polarität.

Außer E i c h m e i e r (22) und K n o l l mit seinen Mitarbeitern (33) führte R h e i n s t e i n (60) in den Jahren 1960 - 61 Experimente bezüglich der Reaktionszeit durch.

Das Ergebnis zeigte einen Einfluß künstlich erzeugter atmosphärischer Ionen auf die "einfache Reaktionszeit", worunter man die Zeit versteht, die zwischen einem durch eine Glimmlampe ausgelösten Lichtblitz und dem Loslassen einer Taste lag. Entweder war diese Reaktionszeit im Mittel um 7% verlängert oder verkürzt.

Wenn man statt einer Ionendichte von ca. 10^6 Ionen pro cm^3 Luft eine Dichte von ca. 2×10^3 Ionen pro cm^3 Luft erzeugte, welche auch in der Natur vorkommen, so nahm der Prozentsatz der Fälle zu, in denen sich die Reaktionszeit verkürzte.

Allerdings konnte nicht der Beweis des Einflusses einer bestimmten Ionen - Polarität erbracht werden.

Die Beeinflussbarkeit des sogenannten "optischen Moments" untersuchte E i c h m e i e r in einer weiteren Versuchsreihe. Als "optischen Moment" bezeichnet man das

Auflösungsvermögen des Auges bezüglich zweier wechselweise aufleuchtender Gegenstände. Es ließ sich diesmal keinerlei Effekt feststellen.

Die israelische Forschergruppe um S u l m a n befasst sich seit Jahren mit der eventuellen Biotropie der Luftionen. In einem 1969 erschienenen Bericht (67) wurden Zusammenhänge zwischen der Wetterfühligkeit und dem Serotonin - Stoffwechsel festgestellt. Danach lassen sich Symptome wie Depressionen, Müdigkeit, Reizbarkeit, Allergien und Atemnot, die charakteristisch für die Beschwerden mancher Menschen bei Auftreten eines heißen trockenen Wüstenwindes (Chamsin) sind, durch einen erhöhten Serotoninspiegel erklären, welcher nach den Worten S u l m a n s wiederum durch den Anstieg der positiven Luftionenkonzentration bewirkt sei, der unter den Chamsin - Bedingungen erfolgt.

Gemeinsam mit seinen Kollegen A s s a e l und P f e i f e r veröffentlichte S u l m a n 1974 Ergebnisse über den Einfluß der Ionisation auf das menschliche EEG (6). Dabei bestand das Testteam aus zwei Gruppen von jeweils 10 Personen im Alter von 20 - 65 Jahren, wobei die Personen der einen Gruppe ein gewisser Grad der "Ängstlichkeit" charakterisierte, denen deshalb Tranquilizer verabreicht wurden. Der Versuch wurde als Doppelblindversuch angesetzt. Die Kontroll - und Versuchsgruppen wurden durch einen Code gewechselt. Bei der gesunden Gruppe ergab sich eine Abnahme der Alphawellen (normal: 8-12/sec) und eine Zunahme der Amplitude unter Ionen-einfluß (normal: 50 V) um jeweils 20%.

Im Gegensatz dazu konnte bei den sedierten Personen keine signifikante Veränderung festgestellt werden.

Im gleichen Jahr gab die Forschergruppe auch Resultate über Untersuchungen des Bakterienwachstums bekannt (66). Dabei konstatierten sie eine Reduzierung des Bakterienwachstums von u.a. *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Proteus* etc. um 50% innerhalb von 6 Stunden und um 70% im Zeitraum von 24 Stunden. Dabei hatte die Ionenkonzentration eine Höhe von 7×10^5 , bzw. 14×10^5 Ionen pro cm^3 Luft.

4. Physikalische Grundlagen zur Luftionisation

Die atmosphärischen Ionen sind nicht identisch mit den Ionen, die in Flüssigkeiten die Ladungsträger darstellen; sie weisen im Gegensatz zu den mono-molekularen Ionen ein breites Größenspektrum auf. Die Entstehung der Luftionen ist in drei Phasen einzuteilen (I s r a e l (29), E i c h m e i e r (20)).

1. Ionisierung von Luftmolekülen:

Durch Energiezufuhr von außen, in Form radioaktiver Strahlung des Erdbodens, Spurengasen in der Luft und Lichtquanten (Höhenstrahlung) wird ein Elektron aus der äußeren Elektronenschale eines Atoms oder Moleküls herausgerissen.

2. Anlagerung:

Das freie, herausgerissene Elektron lagert sich in sehr kurzer Zeit an ein neutrales Atom oder Molekül an.

3. Komplexbildung:

Auch dieses Zwischenprodukt ist in atmosphärischer Luft nicht beständig: weitere neutrale Moleküle lagern sich an und bilden Komplexe, auch Cluster genannt. Der gesamte Entstehungsprozeß erfolgt innerhalb von weniger als 10^{-6} sec.

Hinsichtlich der Größe hat man eine Einteilung in Kleinionen (ca. 3 - 12 Moleküle), mittelgroße Ionen (ca. 10^2 - 10^3 Moleküle) und Großionen (bis zu 10^6 Moleküle) vorgenommen. Die Kleinionen bestehen aus neutralen Gas- oder Wasserdampfmolekülen, die an ein positiv oder negativ geladenes monomolekulares Luftion angelagert sind und durch elektrische Dipolkräfte zusammengehalten werden.

Die Mittel- und Großionen entstehen durch Anlagerung von Fremdkörpern, wie z.B. Kondensationskerne und Staub.

Zur Erzeugung von Ionen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Natürliche atmosphärische Ionen entstehen durch Radioaktivität, Ultraviolett-Röntgenstrahlung, Hitze oder Reibung (Wasser-Lenard-Effekt). Heizgeräte erzeugen positive Ionen. Für biologische Untersuchungen verwendet man heute vorwiegend Ionengeneratoren mit einer Tritiumquelle, bei der radioaktives Tritiumgas (^3H) in einem Zirkoniumplättchen adsorbiert ist und die Kryptonquelle, bei der radioaktives Kryptongas (^{85}Kr) in einem Behälter eingeschlossen ist. Die Ionisation der umgebenden Luft erfolgt bei diesen Quellen durch β -Teilchen (Elektronen), die während des Zerfalls der radioaktiven Substanz emittiert werden. Verbindet man den β -Teilchen-Emitter mit dem positiven Pol einer Gleichspannungsquelle, deren negativer Pol geerdet ist, so entsteht zwischen dem Emitter und seiner Umgebung ein elektrisches Feld. Die in der Luft gebildeten positiven Ionen wandern in diesem Feld von der Ionenquelle fort und können z.B. von Versuchsobjekten aufgenommen werden. Die negativen Ionen wandern dagegen auf die Quelle zu und werden an dieser entladen. Bei Umpolung der Gleichspannungsquelle können in entsprechender Weise negative Ionen erzeugt werden.

Kommerziell werden nicht die genannten radioaktiven Ionenquellen, sondern Generatoren nach dem Koronaentladungsprinzip zur künstlichen Luftionisierung verwendet. Diese enthalten dünn auslaufende Drahtspitzen, an denen durch Anlegung einer hohen Spannung eine in die Luft unipolar ionisierende Koronaentladung erzeugt wird.

4.1. Theorien zum biologischen Wirkungsprinzip

Über den Mechanismus der Einwirkung von Ionen auf biologische Systeme existieren verschiedene Theorien. T s c h i j e w s k i (68) nahm an, daß die atmosphärischen Ionen durch Influenzwirkung die elektrische Ladungsverteilung an den Wänden der Lungenbläschen verändern und dadurch biologische Effekte auslösen.

Ob und welche Ionen überhaupt in den Atemtrakt eindringen, erforschte R e i t e r (57). Er ermittelte die Retention der Schweteilchen im Atemtrakt als Funktion des Teilchendurchmessers, wobei er zu folgendem Ergebnis kam: Teilchen mit einem Durchmesser zwischen $0,1 \mu\text{m}$ und $0,001 \mu\text{m}$, die am häufigsten in der Atmosphäre vorkommen, zeigen die größte Retention in den Alveolen. Teilchen mit einem Durchmesser zwischen 1 und $0,1 \mu\text{m}$ weisen ein Minimum hinsichtlich der Retention auf. Bei einem Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ ist die Retention wieder sehr groß, jedoch nur in den oberen Abschnitten des Atemtraktes. Zumindest ein Teil der Großionen kann also in den Atemtrakt eindringen. Nach wie vor ungewiß ist, ob Kleinionen überhaupt bis zu den Alveolen vordringen können und nicht schon größtenteils im Nasen-Rachenraum abgefangen werden, wie R e i t e r vermutet.

K r u e g e r und S m i t h (44-47) haben durch ihre Untersuchung am Trachea-Epithel festgestellt, daß negative atmosphärische Ionen die Ziliarfrequenz nur dann erhöhen können, wenn Sauerstoff vorhanden ist. Daraus leiten sie die Hypothese ab, daß negative Ionen, die ihrer Meinung nach aus negativ ionisiertem O_2 entstehen, den Einfluß auf respiratorische Enzyme ausüben. Diese Enzyme sind an Reaktionen beteiligt, die, bezogen auf das angeführte Beispiel, zu einer Beschleunigung der Ziliarfrequenz führten.

Der russische Wissenschaftler V a s i l i e v (71, 72) ist der Ansicht, daß atmosphärische Ionen ihren Einfluß über das Blut ausüben. In einem Experiment verband er den Blutkreislauf von zwei Hunden, wobei einer der Hunde atmosphärischen Ionen ausgesetzt wurde. Beide Hunde zeigten Effekte, die den atmosphärischen Ionen zugeschrieben werden. Da jedoch kein detaillierter Bericht über diesen Versuch vorliegt, weiß man auch nicht, welche Effekte beobachtet wurden.

Als letzter soll B i s a (11, 12) erwähnt werden, der annimmt, daß künstlich erzeugte Ionen ihren Einfluß über das vegetativ homeostatische System ausüben.

Welche der aufgeführten Theorien über die wirkliche Angriffsart der Einwirkung atmosphärischer Ionen auf biologische Systeme zutrifft, kann als reine Spekulation betrachtet werden, solange eine eindeutige, von mehreren Forschergruppen bestätigte biologische Wirkung auf mindestens einen Parameter nicht gesichert ist.

5. Problemstellung

Unter den in der Literatur angegebenen Meßparametern erschien die Verwendung der motorischen Aktivität (= Motilität) von Versuchstieren am geeignetsten:

- Sie ist kontinuierlich meßbar
- Sie erfordert keinerlei Einfluß auf Käfig und Tiere
- Sie ist von anderen Autoren leicht überprüfbar
- Sie spricht auf eine Vielzahl von Änderungen physikalischer und biochemischer, äußerer und innerer Parameter an.

Die Wahl der Versuchstierart (Mäuse) erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Säugetiere (Vergleichbarkeit mit dem Menschen)
- Große Motilität
- Einfache Tierhaltung
- Zum Ausgleich großer individueller Schwankungen der Motilität von Einzeltieren sollen Tierkollektive erfaßbar sein.

Da mit einer relativ großen biologischen Schwankungsbreite der Motilität zu rechnen ist, die zu erwartenden Wirkungen dagegen klein sind, erschienen Langzeitversuche mit großen Einzeldatenmengen zur statistischen Sicherung erforderlich.

6. Eigene Versuche

6.1. Vorversuch

6.1.1. Methodik

Bei einem orientierenden Vorversuch wurde folgende Anordnung gewählt:

In einem Mäusekäfig wurde ein Lichtschrankensystem installiert, wobei der Lichtstrahl über drei Spiegel umgelenkt wurde.

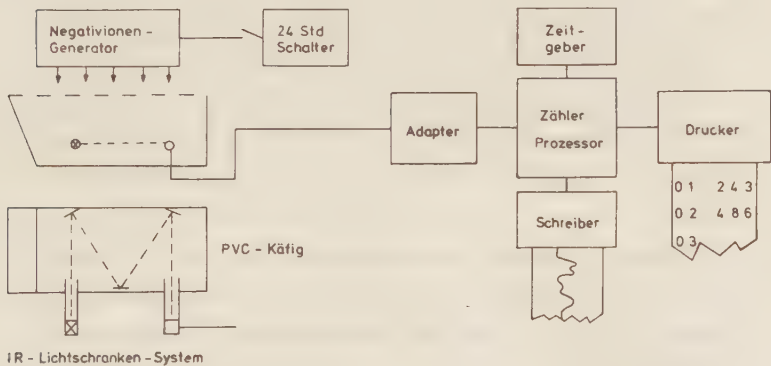


Abb. 1

Blockschaltbild: Vorversuchsaufbau zur Registrierung von Motilitäts - Tagesprofilen von Mäusen unter Ioneneinfluß.

Zur laufenden Registrierung der Bewegungsimpulsrate stand zunächst keine geeignete Anlage zur Verfügung. Ein am Institut vorhandener Szintillationszähler mit automatischem Probenwechsler wurde so modifiziert, daß er stündlich angelaufene Impulssummen ausdrucken und daneben eine analoge, kontinuierliche

Aufzeichnung über die Zeit liefern konnte.

Technische Konzeption, Entwicklung und Aufbau der Versuchsanlagen sind Teil eines Projektes zur Erforschung der biologischen Relevanz luftelektrischer Faktoren und u.a. der sog. "atmosphärischen Impulsstrahlung".

Da die Verfasserin an der Entwicklung der Anlage nicht unmittelbar beteiligt war, eine eingehende technische Darstellung zum Verständnis jedoch als notwendig erachtet wird, soll im folgenden der Versuch einer solchen Darstellung gemacht werden. Sie ist zusammengestellt aus persönlichen Mitteilungen, Aufzeichnungen und graphischen Darstellungen von Dipl. Ing. G. P r a m l und Dr. P. K r ö l i n g , sowie aus der Diplomarbeit von G. P r a m l , welche durch die freundliche Unterstützung von Prof. J. E i c h m e i e r , Institut für Tech. Elektronik der TU München ermöglicht wurde.

Im folgenden Kapitel, das notwendigerweise zum Großteil aus Zitaten besteht, werden die beiden Urheber nicht im einzelnen genannt, um eine homogene Darstellung zu gewährleisten.

Die Originalanlage besteht aus Zähler, Zeitgeber und Probenwechsler (Friesecke und Höfner, Typ FH 49A); zur Registrierung dient ein Druckwerk (Kienzle, Typ D 11-E) und eine analoge Anzeigeeinheit. Mit der Starttaste werden Zähler und Zeitgeber auf Null zurückgestellt. Am Eingang des Zählers ankommende Impulse werden hochgezählt, während der Zeitgeber von einer internen Quelle gelieferte Sekundentakt-Impulse zählt. Erreicht nun die im Zeitgeber hochgezählte Impulssumme einen vorher an der Frontplatte eingestellten Wert, wird der Druckvorgang ausgelöst, Zähler und Zeitgeber werden erneut

rückgesetzt auf Null und das nächste Zeitintervall beginnt. Auf dem Druckprotokoll erscheint eine vom Zeitgeber erzeugte laufende Nummer.

Zusätzlich wurde eine analoge Anzeigeeinheit angeschlossen. Jeder Impuls lädt eine Widerstands - Kondensator - Schaltung (RC-Glied) auf, die sich mit einer einstellbaren Zeitkonstanten wieder entlädt. Treten während der Entladezeitdauer neue Impulse auf, so überlagern sie sich der schon am RC-Glied stehenden Spannung. Die Entladung folgt einer Exponentialfunktion. Zwischen der Aufladung durch schnell aufeinanderfolgender Impulse und der Entladung des RC-Gliedes stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein. Die am RC-Glied stehende Spannung ist ein Maß für die Anzahl der Impulse pro Zeiteinheit, sie wird verstärkt und einem Anzeigeinstrument zugeführt.

Analog - Direktschreiber der Tieraktivität:

Zur ständigen optischen Kontrolle wurde parallel zu dieser analogen Anzeigeeinheit ein Y-t-Schreiber angeschlossen (Rhode und Schwarz Enograph). Auf dem Schrieb kann zu jedem Zeitpunkt die eingelaufene Impulsrate abgelesen werden; eine Eichung ist durch Vergleich mit der Anzeige des Instruments möglich.

Ein Optimum wurde für die im Versuch erzeugten Schriebe bei einer Dämpfungskonstanten von 300 s gefunden. Die Charakteristiken des Aktivitätsverlaufes lassen sich noch gut erkennen, während einzelne Impulsgruppen optisch kaum in Erscheinung treten.

Dazu Abb. 2

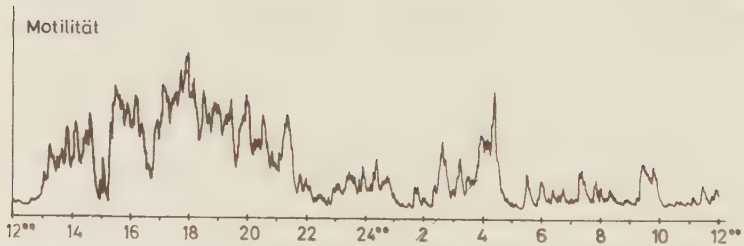


Abb. 2

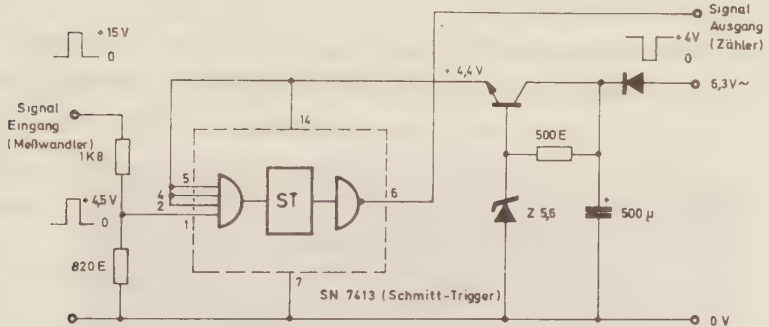
Fortlaufende Registrierung des Motilitätsprofils von 2 Mäusen (Balb C) über 24 Stunden.

Gleitende Integration, Dämpfungskonstante: 300 sec

Parallelschreibung zur optischen Überwachung des Vorversuches.

Anpassung des IR-Lichtschranksystems an die Registrieranlage:
Die Lichtschranke als Meßaufnehmer steuert für die ersten Vorversuche ein elektromechanisches Zählwerk, das an einem Ausgang eine Spannung von 25 V für die Dauer des Lichtschrankenimpulses erzeugt. Für dieses Signal wurde eine Anpassung an den Eingang des Szintillationszählers konstruiert. Das vom elektromechanischen Zählwerk gelieferte Signal steuert über eine Fernleitung - Käfig mit Lichtschranke und Zählwerk sind von der Registrieranlage räumlich getrennt - ein Reed-Relais, dessen Arbeitskontakt aus einer vom Szintillationszähler

gelieferten Oberspannung von 250 V über einen einstellbaren Spannungsteiler einen Impuls von +4 V erzeugt. Diese Impulse liegen am Zuhleingang des Szintillationszählers.



Stromlauf Impulsformer

Abb. 3

Anpassung des Lichtschrankensystems an den Szintillationszähler - nach P r a m l (56)

Negativionenenerzeugung:

Der verwendete elektrische Ionengenerator der Marke "Vitar" Typ 350 hatte folgende Abmessungen: 23 cm breit, 10,5 cm hoch und 15,5 cm tief. Der Ionenausstoß betrug laut Werksangaben ca. 5×10^{11} negative Ionen pro sec, was annähernd durch eigene Messungen bestätigt werden konnte.

Ionenkonzentrationsmessung:

Die Ionenkonzentrationsmessungen wurden mit einem Ionometer der Firma "Kathrein" Typ 8310 durchgeführt.

Das Gerät stand erst nach Ablauf des Vorversuches zur Verfügung. Die Meßergebnisse der in-situ-Messungen werden bei den einzelnen Versuchen beschrieben.

6.1.2. Durchführung

Der Versuch hatte den Charakter eines Vorversuches, mit dem Ziel, mögliche Fehlerquellen im Versuchsaufbau zu erkennen.

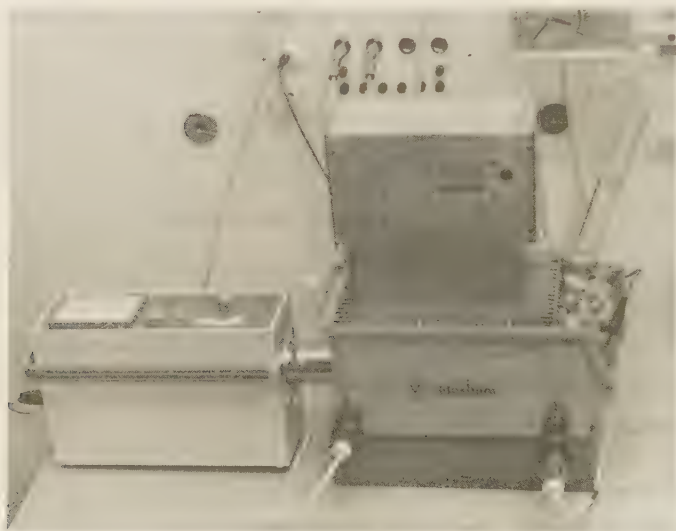


Abb. 4

Vorversuchsaufbau: Plastikkäfig, besetzt mit 2 weiblichen Mäusen (Balb C). Der Ionengenerator befindet sich 8 cm über dem Abdeckgitter des Käfigs.

Zwei weibliche Mäuse vom Stamm Balb C befanden sich in einem PVC-Käfig (Breite 20,5 cm, Länge 34 cm, Höhe 15 cm) der durch

ein direkt aufliegendes Metallgitter von oben verschlossen war. Das Alter der Tiere betrug bei Versuchsbeginn vier Wochen.

Bei diesem Versuch befand sich der Ionengenerator 8 cm über dem Abdeckgitter des PVC-Käfigs (der Abstand Käfigboden - Generator betrug 23 cm).

Mit Hilfe der oben beschriebenen Anlage wurden die Aktivitäten pro Stunde über einen Zeitraum von 14 Tagen gezählt wobei der Generator abwechselnd jeweils einen Tag an- bzw. abgeschaltet war, sodaß insgesamt die Aktivitäten an je 7 Tagen, an- oder abgeschalteter Ionengenerator, registriert wurde.

Zur Auswertung wurden die einander zugehörigen Stundenwerte aufaddiert und gemittelt, sowie der mittlere Fehler des Mittelwertes nach der Formel $\sqrt{\frac{(\sum x_{si} - \bar{x}_s)^2}{N(N-1)}}$ errechnet.

Die Kurven für beide Zeitreihen (mit und ohne Generator) wurden übereinander projiziert dargestellt, wobei nur noch sich trennende Standardfehler in der Graphik berücksichtigt wurden.

Untenstehend sind die beiden Kurven für die Tage mit Ionengenerator "an" und "aus" abgebildet.

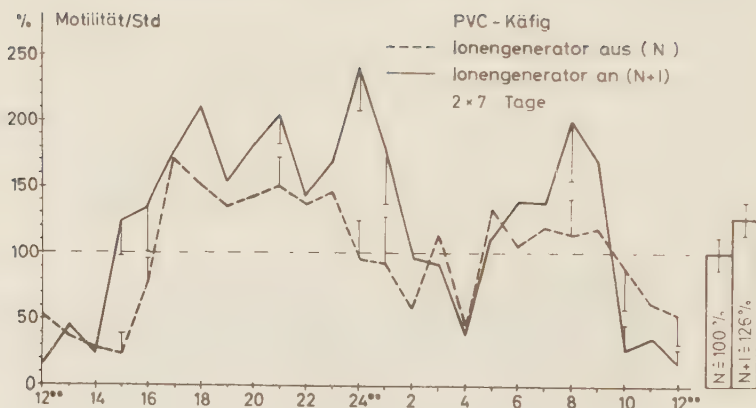


Abb. 5

Durchschnittliche Motilität pro Stunde, gemessen jeweils über 7 Tage mit an- bzw. abgeschaltetem Generator.

Säulen: Gesamtmittelwerte - 2 Versuchstiere, Balb C

Es ist deutlich erkennbar, daß die Aktivität der Tiere an Tagen mit eingeschaltetem Generator zeitweise höher ist als an Tagen ohne Generator. Dies gilt mit Ausnahme der Zeiten von 2 h - 5 h und 9 h - 13 h. Sichere Unterschiede bestanden bei mindestens 8 von 24 Stunden, wobei die Gesamtaktivität während der 7 Tage mit eingeschaltetem Ionengenerator um 26% höher war.

Folgende Erklärungen für die erhöhte Bewegungsaktivität der Tiere sind u.a. denkbar.

1. Ionen-Effekt:

Die Ionen haben aufgrund der ihnen nachgesagten Biotropie die Motilitätssteigerung bewirkt.

2. Geräusch-Effekt:

Die Funkenentladung des Gerätes bei der Ionenerzeugung verursachen ein schwaches Geräusch. Dies könnte einen Reiz für die Tiere darstellen, ebenso wie der schwache 50-Hz-Brummen des Transformators.

3. Geruch-Effekt:

Als Nebenprodukte bei der Ionenerzeugung entstehen geringe Mengen von Ozon und Stickoxyden, welche von Menschen kaum wahrgenommen werden, jedoch möglicherweise bei den Mäusen aufgrund ihres ausgeprägten Geruchsinnes eine Reaktion hervorrufen.

4. Elektromagnetische Wellen:

Durch die Spitzenentladungen entsteht ein breites Spektrum elektromagnetischer Wellen. Dies konnte qualitativ durch einen Mittelwellensuper am Küfigboden nachgewiesen werden.

5. Magnetfeld-Einfluß:

Unter anderem wird für Magnetfelder eine Biotropie diskutiert, wie man verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten entnehmen kann (Beischer (9), Kraus (36), Krueger (40), Persinger (56) u.a.).

Auch bei unserem Versuch wurden vom Transformator des

Ionengenerators Magnetfelder im 50-Hz Bereich erzeugt, die ungehindert durch den Plastikkäfig treten und somit Grund für die Aktivitätssteigerung sein konnten.

6. Elektrostatische Aufladung:

Da der von uns verwendete Käfig aus PVC-Material war, konnte er als Nichtleiter von den Ionen aufgeladen werden. Da von einigen Autoren elektrostatischen Feldern eine Biotropie zugesprochen wird (L a n g (51), A l t m a n n (3), F i s c h e r (25) u.a.) ist bei unserem Versuchsaufbau eine diesbezügliche Wirkung nicht auszuschließen.

7. Als Kuriosum ergab sich bei in-situ-Ionenmessungen nach Abschluß des Vorversuches , daß, durch die gleichnamige elektrische Aufladung der Käfigwände bedingt, kaum noch Negativionen am Käfigboden nachweisbar waren. Der gefundene Effekt war demnach vermutlich unter den Punkten 2 - 6 zu suchen.

Es stellte sich also heraus, daß als Gründe für das positive Ergebnis des Vorversuches neben dem geforderten Ioneneffekt auch eine Anzahl möglicher Störfaktoren in Betracht zu ziehen sind: Im Falle der Geräusch - und Gerucheffekte eine zu kleine Distanz zwischen Ionengenerator und Käfig, bezüglich des Magnetfeldeinflusses, bzw. der elektromagnetischen Wellen, das Fehlen einer ausreichenden Abschirmung und bezüglich der elektrostatischen Aufladung die Materialbeschaffenheit des Käfigs.

7. I. Versuch

7.1. Verbesserung der Anlage

Die vorher beschriebene Registrieranlage diente zur Durchführung von Vorversuchen. Für die eigentlichen Messungen wurde im Rahmen einer Diplomarbeit eine vollständig neue Anlage erstellt, mit der die Nachteile des vorherigen Versuchsaufbaus vermieden werden sollten. Um mehrere Versuche parallel (Kontrollversuche) betreiben zu können, wurde die Anlage mit drei Meßkanälen ausgestattet. Die manuelle Auswertung der Ergebnisse erübrigte sich durch eine EDV-gerechte Aufbereitung der Informationen; Datenträger ist ein Lochstreifen.

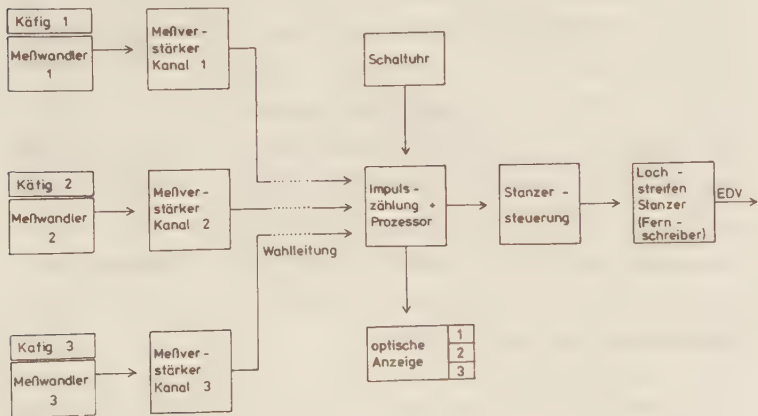


Abb. 6

Vereinfachtes Blockschaltbild der dreikanaligen Registrieranlage zur automatischen Aufnahme des Motilitätsprofils von Versuchstieren.

Meßaufnehmer:

Die Effektivität des Lichtschrankensystems als Meßaufnehmer läßt zu wünschen übrig: Bewegungen der Versuchstiere können nur in einer Ebene verfolgt werden; turnen die Tiere etwa am Käfigdeckel, so entziehen sie sich der Messung. Im Lichtstrahl sich aufhaltende Tiere blockieren sie dagegen; dadurch erzeugte Fehler machen sich mit steigender Anzahl von Tieren in einem Käfig immer deutlicher bemerkbar. Eine größere Zahl voneinander unabhängiger Lichtschranken könnte diesen Nachteil beseitigen, führte aber schnell zu einem in diesem Rahmen nicht vertretbaren Aufwand - zumal zu jeder Lichtschranke eine eigene elektronische Anpassung an das auswertende Gerät erforderlich wird. Außerdem sollte der Meßaufnehmer für Versuche im Magnetfeld geeignet sein, weshalb Metallteile unerwünscht waren.

Diese Gesichtspunkte führten nach Angaben von Dipl. Phys. D i r n a g l zur Entwicklung eines Meßaufnehmersystems, das unabhängig von der Anzahl der Versuchstiere im Käfig arbeitet, keine störenden Einflüsse erzeugt und auch ungewöhnliche Bewegungen, etwa am Käfigdeckel, erfaßt. Dieser Meßaufnehmer benützt als Meßgröße die reaktiven Kräfte, die am Käfig bei Bewegungen innerhalb auftreten.

Der Meßaufnehmer besteht aus 3 Blasebälgen - aus einem Gummi-Rippenschlauch - die über Schläuche und ein Y-förmiges Verbindungsstück pneumatisch verbunden sind. Das Y-Stück ist mit Druckentlastungsöffnungen versehen, in seinem Zentrum befindet sich ein eigengeheizter Thermistor. Auf diesen im Dreieck angeordneten Bälgen steht der Käfig mit den Versuchstieren. Wird der Balg durch einen mechanischen Impuls komprimiert,

ergibt sich eine Druckerhöhung in seinem Innern und in der Folge eine Druckentlastung über die Leitung zum Thermistor in Form einer Luftströmung. Der auf einer Temperatur von etwa 80°C befindliche Thermistor wird durch Konvektion aus dem durch Eigenheizleistung und thermischer Abstrahlung gehaltenen Temperaturgleichgewicht gebracht und etwas abgekühlt. Sein Widerstand verändert sich geringfügig. Der dabei auftretende Spannungssprung stellt die weiterzuverarbeitende Information dar.

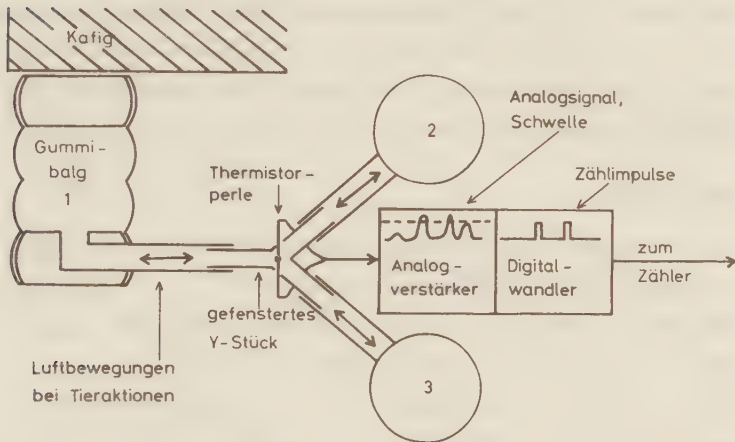


Abb. 7

Blockschaltbild: Meßwandler und Meßverstärker

Aus der Anordnung der Blasebälge ergibt sich, daß vornehmlich Bewegungen in Richtung der Schwerkraft bewertet werden. Kräfte **senkrecht dazu**, also parallel zur Erdoberfläche, führen nur zu einer Scherung der Bälge, verändern deren Volumen kaum und

führen demnach nicht zu analogen Signalen. Da die Hauptkomponente der Bewegungsenergie jedoch in Richtung Schwerkraft liegt, bietet die gewählte Anordnung der Meßaufnehmer eine zuverlässige Vereinfachung ohne großen Informationsverlust.

Trotz der Vielzahl von Umwandlungen des mechanischen Impulses als Ausgangsgröße bis zum analogen elektrischen Signal (mechanisch-pneumatisch-Strömung - Wärmeübertragung - elektrisches Signal) läßt sich eindeutig eine Proportionalität von Bewegungsenergie in Richtung der Schwerkraft und Amplitude des analogen Spannungssprunges nachweisen. Eine zeitliche Auflösung aufeinanderfolgender mechanischer Impulse bis herab zu Abständen kleiner $1/10$ sec ist gesichert; durch die Reibung in den Bälgen wird das mechanische System so stark gedämpft, daß Eigenschwingungen nicht störend wirken können.

Meßverstärker:

Um die möglicherweise großen Entfernungen zwischen den Käfigen und der Datenverarbeitungsanlage überbrücken zu können, muß das vom Thermistor kommende Signal digitalisiert werden. Bei den vorliegenden Meßverstärkern werden alle über einer definierten und einstellbaren Schwelle liegenden Analogsignalamplituden in Rechteckimpulsen umgewandelt, die durch die Zähler in der Datenverarbeitungsanlage aufsummiert werden.

Jeder Meßverstärker setzt sich zusammen aus einer Konstantstromquelle (T1) für die Heizung des Thermistors, einem Wechselspannungsverstärker (K1), einem Komparator (Ic2) zur Erzeugung der Rechteckimpulse in Verbindung mit einer stabilisierten Vergleichsspannung und einem Leitungstreiber (T2), der den Meßverstärker von der Leitung entkoppelt. Nach dem Komparator steht das digitalisierte Signal zur

Verfügung, die Impulse auf der Leitung haben einen Ruhepegel von 0 V und eine Amplitude von +15 V. Die Datenverarbeitungsanlage liefert die Versorgungsspannung zentral über die Verbindungsleitungen an alle Meßverstärker. Da die Meßaufnehmer verschiedene mittlere Empfindlichkeiten haben, ist die Möglichkeit zum Angleichen der 3 Kanäle gegeben. Mit einer entsprechenden Einstellung des Thermistors und damit der Temperatur des Thermistors im thermischen Gleichgewicht kann dies erreicht werden. Die mittlere Empfindlichkeit kann über eine Veränderung der Thermistortemperatur mit R4 etwa um den Faktor 2 verändert werden.

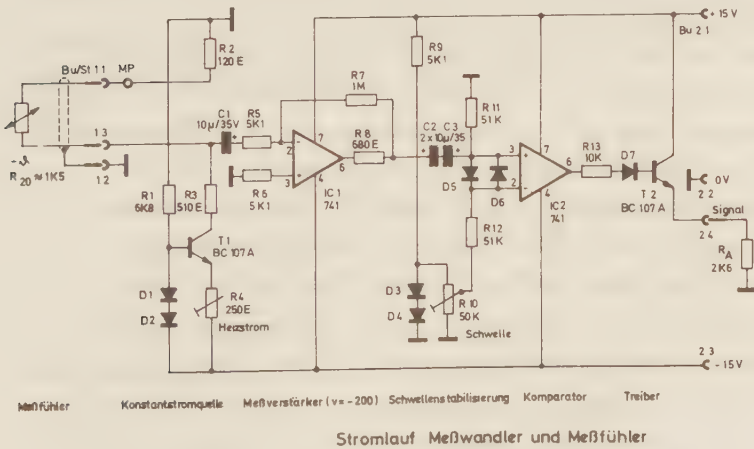


Abb. 8

Schaltbild des Meßverstärkers. Der Meßfühler ist symbolisch links außen dargestellt.

Nach P r a m l (57)

Datenregistrierung:

Auswertung und Umformung der von den Meßaufnehmern gelieferten Information übernimmt die Datenverarbeitungseinheit. Zentrales Gerät dieser Einheit ist der Prozessor. 3 Zählereingänge verbinden den Prozessor mit den jeweiligen Meßverstärkern, der Zählerstand wird für jeden Kanal einzeln angezeigt und kann für die Abfrage gespeichert werden. Mit einer externen Schaltuhr wird die Abfrage ausgelöst; nacheinander werden eine laufende Nummer, die der Prozessor selbst erzeugt, und die Zählerinhalte der 3 Meßkanäle in binär codierter Dezimalform an den Ausgang des Prozessors transferiert und auf einen Übergabebefehl hin vom folgenden Gerät, einer automatischen Stanzersteuerung (AAS), übernommen, welche einen Fernschreiber absteuert.

Parallel zum Ausdruck auf dem Blattschreiber wird durch die Fernschreibmaschine ein Lochstreifen mit identischen Informationen hergestellt, der die Beschickung einer Rechenmaschine mit den Meßwerten des Versuches erlaubt.

Die Dauer der Meßintervalle, also die Zeitspanne zwischen 2 Abfragen, wird bestimmt durch die Schaltuhr. Nach oben hin ist die Zeitdauer nur begrenzt durch den Eintritt eines Zählerüberlaufes, der im Sinne einer vernünftigen Auswertung vermieden werden muß. Zu Beginn der Abfrage werden die Zähler nur für einige Mikrosekunden gesperrt und beginnen danach sofort wieder zu zählen. Die Meß- und Registrieranlage arbeitet automatisch und erfordert außer der Vorbereitung zum Start und dem Abschluß einer Meßreihe keinerlei Bedienung. Damit wird ein störender Einfluß auf die Versuchstiere weitgehendst vermieden und Bedienungsfehler sind ausgeschlossen.

7.1.1. Durchführung

Im folgenden Versuch sollten nun die möglichen Störfaktoren, wie z.B. elektrostatische Aufladung der Käfigwände, Geräuscheffekte, elektromagnetische Felder etc. soweit wie möglich reduziert werden.

Der PVC-Käfig wurde durch einen im Institut angefertigten Aluminiumkäfig ersetzt. (Breite 20 cm, Tiefe 28 cm, Höhe 20 cm). Das ganze System wurde in einen Nagetierkäfig aus V₂A-Stahl (Tiefe 40 cm, Breite 36 cm, Höhe 39 cm) untergebracht. Das Türgitter (Gitterabstand 3 cm) kam bei dieser Anordnung obenauf zu liegen. Auf diesem Türgitter befand sich der elektrische Negativionengenerator; der Abstand Generator - Käfigboden betrug jetzt ca. 40 cm. Durch eine Klappe 2 cm über dem Käfigboden konnte das Ionometermeßrohr eingeschoben werden, sodaß Konzentrationsmessungen in-situ möglich waren.

Mehrfach wiederholte Messungen in dieser Anordnung ergaben eine Ionendichte von 4×10^4 Ionen/cm³. Die Höhe des Käfigs war so bemessen, daß die Tiere den Käfig nicht verlassen konnten, sodaß auf ein Abdeckgitter verzichtet werden konnte.

Sowohl Außen- wie Innenkäfig wurden über ein Erdungskabel auf das hauseigene Potential gelegt. Wenngleich keine exakten Messungen vorgenommen werden konnten, ob ausreichende Ladungsmengen auch tatsächlich von den Tieren aufgenommen werden, so konnte doch angenommen werden, daß die Tiere sich in einem hoch ionisierten Milieu befanden und ein Mehrfaches der bei natürlichen Verhältnissen vorkommenden Ladungsmengen aufnehmen konnten.

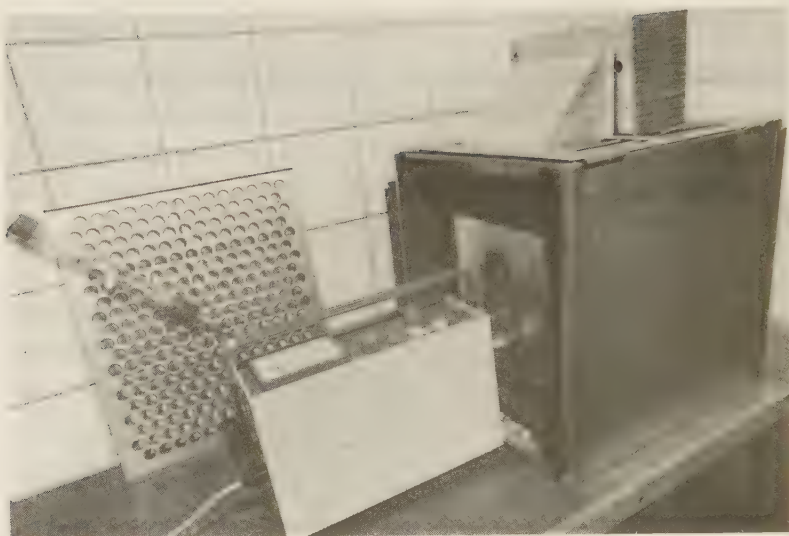


Abb. 9

Versuchsaufbau während einer in-situ Ionenmessung. Das vordere Abschlußgitter mit der Trinkampulle wurde dazu entfernt.

Als Versuchstiere wurden 4 weibliche Mäuse vom Stamm Balb C eingesetzt. Zum Fressen stand den Tieren Altrumin - Pellets - Standardnahrung zur Verfügung. Normales Leitungswasser konnten die Mäuse aus einem Meßzylinder, der mit dem Käfig über ein Zuleitungsrohr verbunden war, aufnehmen. Der Verbrauch lag bei 4 ml pro Tier und Tag. Als Einstreu dienten kleine Sägespäne, die am Ende jeder Versuchsperiode ausgewechselt wurden. Die Versuche führten wir in einem Kellerraum des Instituts durch, in welchem folgende Bedingungen herrschten: Nahezu konstante Temperatur von 24°C , minimale Feuchteschwankungen um 70%, absolute Ruhe und zwei Hell - Dunkel - Wechsel um 6 Uhr und 18 Uhr. Die Versuchsdauer betrug 26 Tage.

Dabei wurde von einem Schaltwerk der Ionengenerator in 24-stündigem Rhythmus ein- und ausgeschaltet (entspricht 2×13 Tagen). Die Stundenwerte der jeweiligen Tage "ein" und "aus" werden gemittelt und die Standardfehler berechnet. Weiterhin wurden die Mittelwerte über alle Stunden der jeweiligen Zeitreihen ermittelt. Der Gesamtmittelwert der Kontrolltage wurde für die graphische Darstellung gleich hundert Prozent gesetzt und mit den Tagen unter Ionisation verglichen. Standardfehler werden nur eingetragen, wenn kein gemeinsamer Bereich vorhanden war und damit die Wahrscheinlichkeit einer statistisch relevanten Differenz gegeben war.

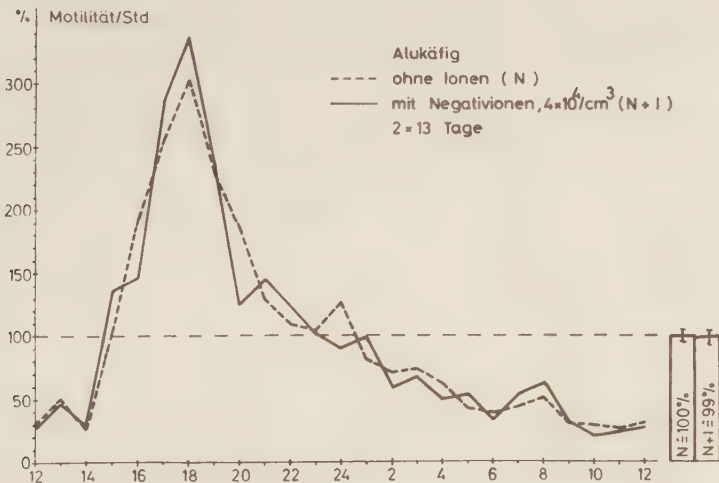


Abb. 1o

1. Versuch zum Einfluß von Negativionen auf das motorische Verhalten von Mäusen. Versuchsdauer 2×13 Tage, ein-aus-Wechsel täglich; Versuchstiere: 4 weibliche Mäuse vom Stamm Balb C.

Augenscheinlich bestehen zwischen den beiden Tagesprofilen keine erheblichen Differenzen. Die statistische Prüfung der 24 Stundenmittelwerte ergab für keine Stunde signifikante Unterschiede. Die Gesamtstundenmittel differieren nur um 1%. Demnach haben die Tiere unter Ioneneinfluß weder ihre Gesamtmotilität verändert, noch kam es zu einer Veränderung des zeitlichen Ablaufes des motorischen Verhaltensmusters.

7.1.2. Wiederholung des Versuches

Um das Ergebnis zu sichern, wurde der Versuch in derselben Anordnung mit 4 anderen Tieren (Balb C) nochmals durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug ebenfalls 2×13 Tage.

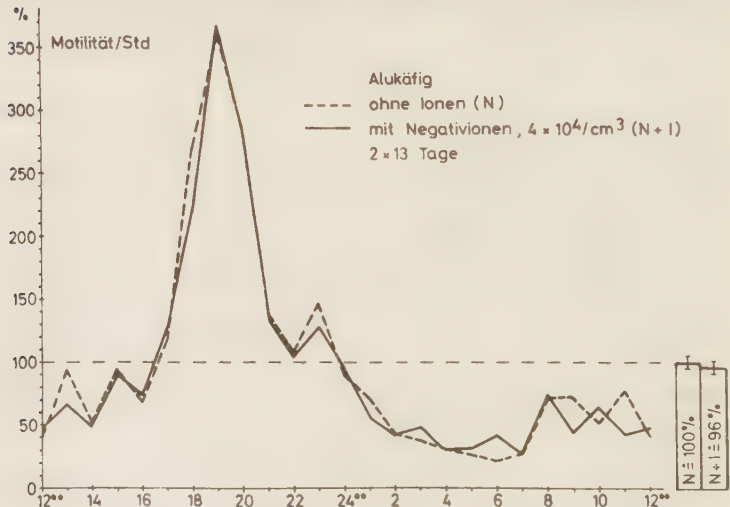


Abb. 11

Wiederholung des Negativionenversuchs. Versuchsdauer 2×13 Tage bei täglichem ein-aus-Wechsel. Versuchstiere: 4 Mäuse vom Stamm Balb C.

Das Ergebnis aus diesem Versuch war nahezu identisch mit dem Ergebnis aus dem vorangegangenen: wiederum kam es während keiner Tageszeit zu signifikant unterschiedlichem Verhalten durch die - gegenüber natürlichen Verhaltensweisen - starke Ionisation der Käfigluft.

Neue Versuchsreihe:

In wie weit nun die Ergebnisse verschiedener Wissenschaftler (K r u e g e r (39) u.a.) von Versuchen mit positiven Ionen reproduzierbar sind, war die Fragestellung für die nächste Versuchsreihe.

Zur Erzeugung positiver Ionen verwendeten wir einen Tritium-Generator. Hierbei entstehen die Ionen durch Radioaktivität, im Gegensatz zu dem bei den Negativionen - Versuchen benützten elektrischen Generator, wo es sich um Koronaentladung handelte.

Der Ionengenerator ("Ionaire" - Hicks) (28) wurde uns freundlicherweise von Prof. J. E i c h m e i e r (Institut für Tech. Elektronik der Universität München) zur Verfügung gestellt.

Das Prinzip des Ionengenerators wird aus R h e i n s t e i n (60) zitiert:

" Der Ionengenerator, wie in Abb. 12 gezeigt, besteht aus einer runden Plattenelektrode mit einem Durchmesser von 5 cm, an der eine kleinere Zirkoniumfolie von 1 cm Durchmesser angebracht ist. Die Zirkoniumfolie ist von der größeren Platte elektrisch isoliert. Die Zirkoniumplatte ist gegenüber Berührung durch ein Plastikgitter geschützt. Aus Kenndaten kann man entnehmen, daß in der Zirkoniumplatte 50 Millicurie Tritium (H^3) absorbiert sind, aber Messungen des Elektronenstromes im Vakuum, die der Autor vorgenommen hat, zeigen

eine effektive Menge von nur 4 Millicurie Tritium. Tritium emittiert Betateilchen (Elektronen) mit einer Maximalenergie von 18 keV und einer mittleren Energie von 4-6 keV. Durch Zusammenstöße mit und Ionisierung von Molekülen in der Luft verlieren diese Betateilchen ihre Energie sehr schnell. Die maximale Reichweite der Betateilchen in der Luft beträgt ca. 0,8 cm (63).

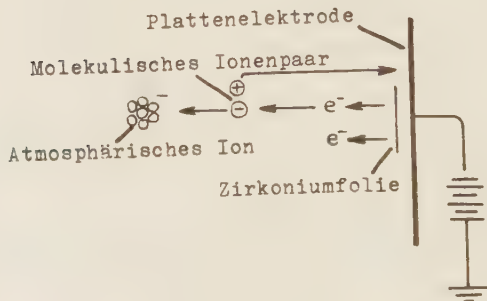
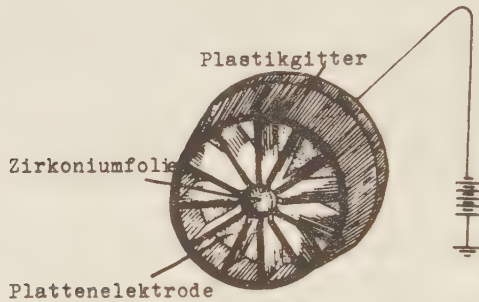


Abb. 12

Tritium-Ionengenerator zur Nebenproduktfreien Erzeugung von positiven und negativen Ionen. (R h e i n s t e i n (60)).

Um die Ionen der beiden Polaritäten zu trennen, legt man eine Gleichspannung, normalerweise 900 Volt, an die Elektrode hinter der Zirkoniumscheibe an. Wenn diese Spannung positiv ist, folgen die negativen Ionen den Feldlinien zur Elektrode und werden dort entladen; andererseits werden die positiven Ionen durch elektrostatische Abstoßung in die umgebende Luft entleert. Wenn die an der Elektrode angelegte Spannung negativ ist, werden negative Ionen in die Luft emittiert. Durch Anlagerung von neutralen Molekülen werden die so erhaltenen Ionen innerhalb von Mikrosekunden zu atmosphärischen Kleinionen. Diese Anlage zur Erzeugung von atmosphärischen Ionen ist einfach, leicht zu transportieren und ungefährlich."

Mit dieser Methode der Ionenerzeugung wurden gleichzeitig Nebeneffekte vermieden, die bei Koronaentladungsgeräten auftreten, nämlich die Entstehung von Ozon, Stickoxyden und Geräuschen. Nachgewiesen wurde dies durch ein Ozonmeßgerät, das K i r c h h o f f (31) nach dem Prinzip von E h m e r t entwickelt hat.

7.2. II. Versuch

Der Aluminium-Innenkäfig, der V_2A -Stahl Außenkäfig und die Versuchstiere (4, Balb C) wurden aus den vorhergehenden Versuchen übernommen. Der Abstand zwischen der Ionenquelle und dem Käfigboden betrug ca. 15 cm. Die Ionenkonzentration am Käfigboden betrug wie in den vorausgegangenen Versuchen 4×10^4 Ionen/cm³. Bei einem 24-stündigem Wechsel zwischen positiven und negativen Ionen wurde der Versuch 17 Tage lang durchgeführt, und zwar 8 Tage mit positivem und 9 Tage mit negativem Ionenmilieu.

Der Versuchsaufbau ist aus der folgenden Aufnahme zu entnehmen.

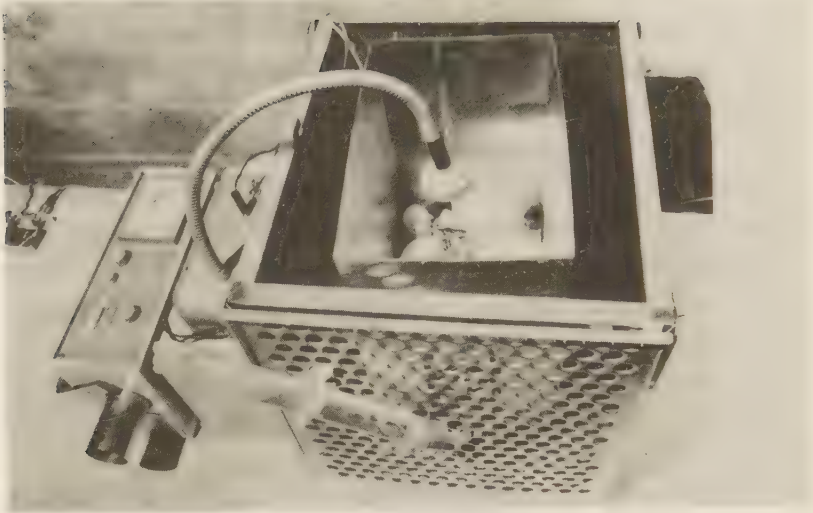


Abb. 13

Versuchsaufbau mit einem Tritium-Generator zur Messung des Einflusses negativer und positiver Ionen.

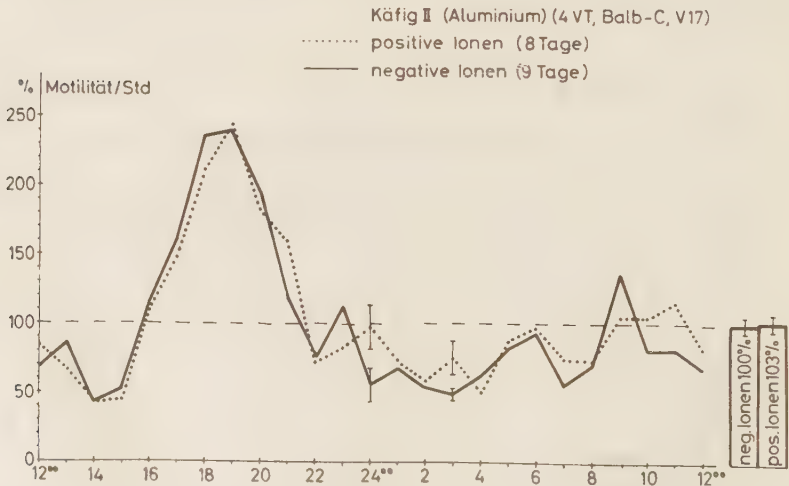


Abb. 14

Negativ-Positiv-Ionenversuch, 24-stündiger Wechsel, Versuchsdauer 17 Tage, davon 8 Tage positiv und 9 Tage negativ.

Die beiden Zeitreihen unterscheiden sich bis auf die 24^{00} und 3^{00} - Werte nicht nennenswert von einander. Auch diese exponierten Werte, denen ja nur scheinbar eine Bedeutung zukommt, würden nach einigen weiteren Versuchstagen durch Annäherung der mittleren statistischen Fehler verschwinden. Die Abweichung der Stundenmittel (Balkendarstellung rechts außen) beträgt 3% und liegt eindeutig im Streubereich.

7.3. III. Versuch

Aus der Tatsache, daß wir keine signifikanten Verhaltensunterschiede zwischen negativer und positiver Polarität der Luftionen festgestellt haben, ergibt sich die Frage, ob eventuell positive und negative Ionen gleicher Konzentration den gleichen Effekt auslösen können.

Deshalb schalteten wir im nächsten Versuch einen Tag ohne Ioneneinfluß dazwischen. Nach einer Versuchsdauer von 30 Tagen, das entspricht 10 Tage negativer Ioneneinfluß, 10 Tage positiver Ioneneinfluß und 10 Tage ohne Ioneneinfluß, erhielten wir nachstehendes Ergebnis.

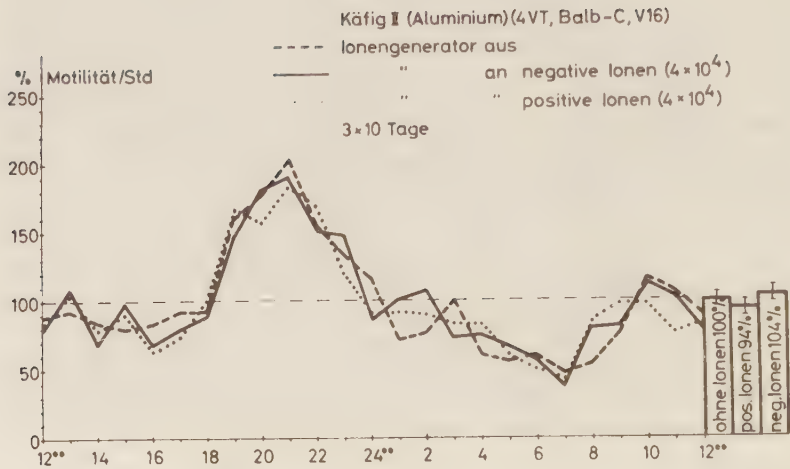


Abb. 15

30-tägiger Versuch unter 3 verschiedenen Bedingungen:

10 Tage negative Ionen (4×10^4), 10 Tage positive Ionen (4×10^4) und 10 Tage war das Gerät nicht angeschlossen.

Wechsel: 24-stündig

Wie ersichtlich liegen alle drei Zeitreihen im Vertrauensbereich. Die motorische Gesamtaktivität war in diesem Versuch bei negativer Ionisation um ca. 10% höher als bei positiver. Wir messen dieser Differenz jedoch keine Bedeutung bei, da es im vorhergehenden und im nächsten Versuch nicht zu einer vergleichbaren Reaktion gekommen ist.

Überlegungen zum nächsten Versuchsaufbau:

Das negative Ergebnis der bisherigen Versuche veranlaßte zu Überlegungen, ob denn auch tatsächlich Ionen von den Tieren aufgenommen werden. Die Messungen der Konzentrationen im Käfig ergaben zwar die angegebenen Ionendichten; dazu muß aber erwähnt werden, daß die Ionen zur Messung durch einen kleinen eingebauten Ventilator mit einem Durchsatz von 2,9 l/sec abgesaugt werden, wodurch eine echte in-situ Situation in Frage gestellt ist. Es wäre denkbar, daß die Ionen sich zwar ähnlich wie ein Gas im Käfig verteilen, durch elektrostatische Feldkräfte, aber nicht auf bzw. in die Tiere gelangen können.

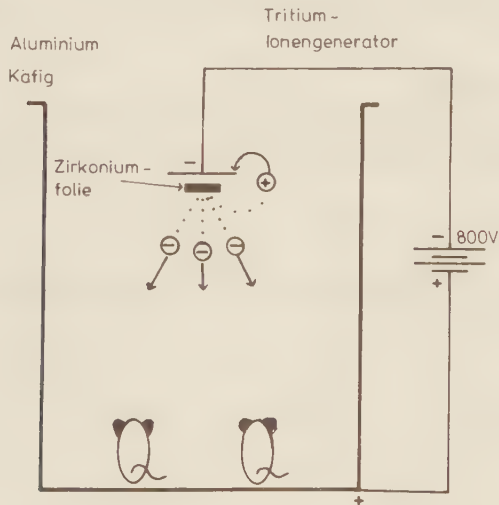


Abb. 16

Schematisierter Versuchsaufbau mit Anlegen einer Spannung zwischen Generator und Metallkäfig, der mit Mäusen besetzt ist.

Aus diesem Grund modifizierten wir den Versuch in folgender Weise: Der Metallkäfig wurde auf das ungleichnamige Potential der jeweiligen Ionenpolarität gelegt. Es kann angenommen werden, daß die Ionen den Feldlinien folgend, mit Sicherheit auf den Käfigboden gelangen. Da die Tiere ebenfalls das gleiche Potential aufweisen, ist die Wahrscheinlichkeit noch wesentlich höher, daß die Luftionen sich zumindest teilweise an den Tieren entladen.

Aus technischen Gründen konnte allerdings keine Messung eines tatsächlich vorhandenen Stromflusses über die Tiere in den Käfigboden durchgeführt werden. Immerhin wissen wir durch vergleichbare Messungen von B a c h m a n n (8), daß Ionen von einem geerdeten Tier - in Abhängigkeit von der Konzentration - mit Sicherheit aufgenommen werden.

7.4. IV. Versuch

Nach oben beschriebenem Versuchsaufbau wurde der folgende Versuch 24 Tage lang durchgeführt. Die Tiere befanden sich 12 Tage unter positivem und 12 Tage unter negativem Ionen-einfluß.

Das Ergebnis ist in der untenstehenden Zeichnung dargestellt.

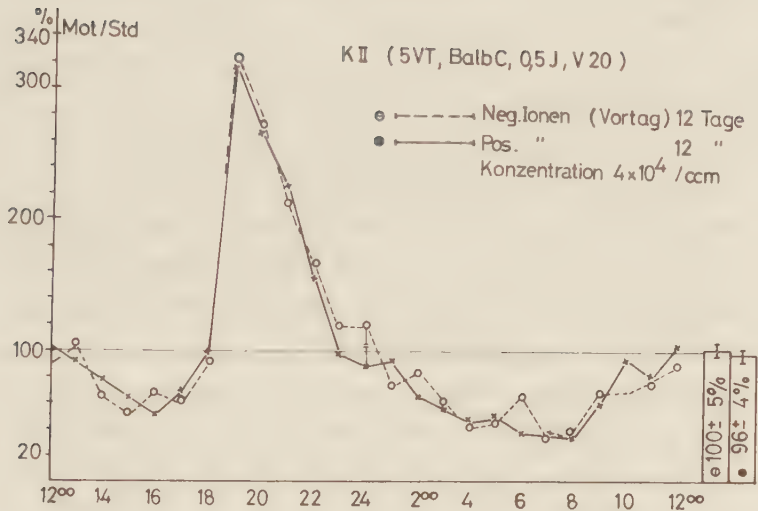


Abb. 17

Negativ-Positiv-Ionenversuch, Versuchsdauer 24 Tage, davon 12 Tage positiver und 12 Tage negativer Ioneneinfluß in 24-stündigem Wechsel.

Wie aus der Graphik zu sehen ist, ähneln sich die Motilitätskurven wiederum sehr stark. Zu keiner Stunde gibt es eine eindeutige Trennung der Standardabweichungen. Die geringen Unterschiede der Kurven müssen daher als zufällig angesehen werden; eine eindeutige Wirkung der ionisierten Luft auf das Bewegungsverhalten der Tiere ist daher bei dieser modifizierten Anordnung nicht nachweisbar.

Aus diesem Ergebnis kann zusammenfassend geschlossen werden: Ein Kollektiv weißer Labormäuse reagiert auf einen 24-stündigen Milieuwechsel von hoch negativ und hoch positiv ionisierter Luft weder mit einer eindeutigen Änderung der Gesamt-

motilität, noch mit einer Änderung der zeitlichen Verteilung der Motilität.

7.5. Kontrollversuch

Die wiederholt negativen Ergebnisse ließen den Verdacht aufkommen, daß das entwickelte Versuchsprinzip zur Messung geringer Verhaltensabweichungen doch nicht so gut geeignet sei, wie man theoretisch annehmen sollte. Deshalb untersuchten wir zur Kontrolle der Empfindlichkeit unserer Methode die Wirkung anderer schwacher physikalischer Reize.

Unter anderem wurde folgender Versuch durchgeführt: Mittels eines schwach geheizten Thermokissens unterhalb des Versuchsaufbaus wurde die effektive Käfiglufttemperatur um $1,5^{\circ}\text{C}$ gegenüber der Raumluft (25°C) erhöht (gemessen mit in Tierhöhe hängendem $1/10^{\circ}$ -Thermometer).

Die Auswertung des Versuchs zeigte folgendes Ergebnis:

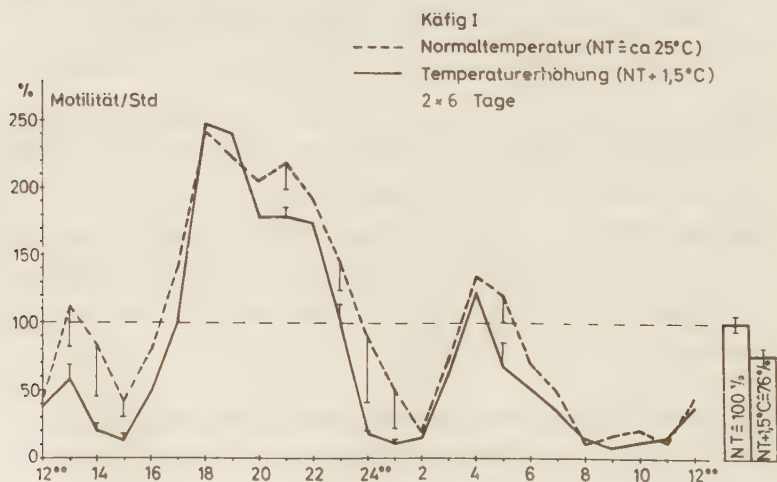


Abb. 18

Beispiel für einen Wirkfaktor physikalischer Natur
(Temperaturerhöhung von 25°C auf $26,5^{\circ}\text{C}$)

Die Versuchsdauer betrug 12 Tage. Die Einschaltungen des Thermokissens erfolgte wie bisher im 24-Stunden-Rhythmus.

Dieser Versuch wurde mit einem Tierkollektiv durchgeführt, welches eine andere Tagescharakteristik entwickelte.

Das Motilitätsprofil änderte sich bei 24-stündiger Einwirkung der höheren Temperatur ($+1,5^{\circ}\text{C}$) signifikant während dreier Nachmittagsstunden (13^{oo} , 14^{oo} , 15^{oo}) und während 5 Nachtstunden (21^{oo} - 1^{oo} , 5^{oo}). Zu anderen Tageszeiten konnten keine signifikanten Unterschiede registriert werden. Die Gesamtmotilität sank bei Temperaturerhöhung um 24%.

Dieses Beispiel zeigt, daß die Tiere auf schwache physikalische Reize durchaus mit einer - mit Hilfe unserer Methodik meßbaren - Änderung ihres Verhaltens reagieren.

8. Diskussion

Die Literaturübersicht wurde ohne Wertung der einzelnen Arbeiten gegeben. Viele der dargestellten Ergebnisse können jedoch nicht kritiklos übernommen werden:

- Die Ergebnisse von Versuchen konnten in den wenigsten Fällen von anderen Autoren mit vergleichbarer Methodik reproduziert werden. (z.B. K r u e g e r et al - Französisches Forschungsteam: Ziliarfrequenz, siehe S.10)
- Die Menge der Meßdaten ist auf Grund kleiner Kollektive und kurzer Meßzeiten oft für statistische Erfordernisse unzureichend. Häufig fehlen Kontrollversuche.
- In vielen Versuchen wurden relativ komplizierte und schwer interpretierbare Meßparameter gewählt.
- Die beschriebenen Methoden zur Ionenproduktion lassen vielfach die Frage offen, ob nicht andere Faktoren (Ozon, Geräusche etc.) die Ergebnisse beeinflußt haben.
- Manche Versuche lassen nicht erkennen, ob sie als Blind- bzw. als Doppelblindversuche durchgeführt wurden.

Am Ende unserer Versuchsserie können wir feststellen, daß einem Vorversuch mit Lichtschrankensystem, bei dem das Motilitätsprofil signifikant erhöht war, 5 Hauptversuche mit modifizierter Registriertechnik entgegenstehen, bei denen keinerlei Einfluß künstlich erzeugter Luftionen beiderlei Polaritäten auf die Motilität weißer Labormäuse nachgewiesen werden konnte.

Die Bedeutung des positiven Vorversuchsergebnisses für das Ge-

samtversuchsergebnis liegt darin, daß wir nach Ausschaltung der während des Vorversuches festgestellten Störfaktoren wie Geruch, Geräusch, Magnetfeld etc. keine signifikanten Erhöhungen des Motilitätsprofils der Mäuse auf die stark erhöhte Luftionenkonzentration mehr beobachten konnten. Es hat sich daher im Vorversuch mit hoher Wahrscheinlichkeit um die Wirkung von Nebenprodukten gehandelt, die bei der künstlichen Luftionisation entstehen.

Unsere negativen Versuchsergebnisse können zwar das Durcheinander der vielen in der Literaturübersicht aufgezeigten und sich teilweise widersprechenden Ergebnisse anderer Autoren nicht wesentlich erhellen; jedoch können wir immerhin die statistisch gesicherte Aussage machen, daß ein Kollektiv von Labormäusen unter definierten Bedingungen, d.h. bei einem Hell-Dunkel-Wechsel um 6 Uhr und 18 Uhr, einer nahezu konstanten Temperatur von 24°C, minimalen Feuchteschwankungen um 70 % und bei absoluter Ruhe keine signifikanten Änderungen der Motilität zeigt.

Ein kritischer Punkt bei der Beurteilung unserer Versuchsergebnisse ist sicherlich die Tatsache, daß aus Gründen des technischen Aufwandes die Aufnahme der Luftionisation durch die Tiere nicht bewiesen wurde. Dies ist allerdings ein Problem, welches bis auf eine einzige Ausnahme (B a c h m a n n , 8) auch von den Autoren mit zumeist positiven Versuchsergebnissen nicht weiter verfolgt wurde. Wir können aber mit einiger Sicherheit davon ausgehen, daß die Tiere sich in einem unipolar ionisierten Milieu befanden, welches in seiner Größenordnung natürliche Ionenverhältnisse um das bis zu 100-fache überstieg. Die Voraussetzung für einen ungehinderten Ladungszu- und abfluß wurde durch die Erdung des Metallkäfigs bzw. durch seine ungleichnamige elektrische Aufladung geschaffen.

Eine andere Erklärung für unsere negativen Versuchsergebnisse wäre auch die Möglichkeit, daß die von uns verwendeten Mäuse vom Stamm Balb C, eine relativ hohe Reizschwelle für schwache physikalische Reize haben. Dies können wir aber aufgrund des Kontrollversuchsergebnisses ausschließen, da die Tiere auf den relativ geringfügigen physikalischen Reiz einer Temperaturerhöhung um $1,5^{\circ}\text{C}$ mit einer signifikanten Motilitätsänderung reagierten.

Die hohe Meßgenauigkeit der Versuchsanlage wird durch das bei jedem Versuch erhaltene charakteristische Tagesprofil der Tiere demonstriert.

Welche Tiere in welcher Anzahl die deutlichsten Ergebnisse liefern, ist bis jetzt noch nicht bekannt. Grundsätzlich kann die Anlage mit Kleintieren jeder Art betrieben werden, die Anzahl ist nur durch die Käfiggröße begrenzt. Die Besetzung der Käfige mit je 4 weiblichen Mäusen vom Stamm Balb C hat sich bewährt, da es über Monate zu keinen Ausfällen und augenscheinlich - bei dieser Kollektivgröße - zu keinen "psychosozialen" Störungen gekommen ist.

Die Versuchsergebnisse spiegeln das Verhalten weißer Labormäuse unter Ioneneinfluß wieder. Hieraus ergibt sich die Problematik, daß einerseits bei Labormäusen in Folge von bereits über viele Generationen andauernden künstlichen Lebensbedingungen in Labor-käfigen eine Dekadenz im Sinne einer Über- oder Unterempfindlichkeit angenommen werden kann.

Andererseits werden Labormäuse zur Untersuchung von physikalischen wie auch pharmakologischen Parametern herangezogen, weil sie sich als empfindliche Indikatoren für derartige Parameter bewährt haben.

Fragwürdig ist dagegen die Übertragung der von uns bei Mäusen erzielten Versuchsergebnisse auf die im Vordergrund stehende Diskussion der Wirkung kommerzieller Ionengeneratoren auf den Menschen, zumal beim Menschen ein Einfluß auf das subjektive Befinden postuliert wird, von uns dagegen die Motilität gemessen wurde. Es liegen mittlerweile jedoch auch auf human-experimentellem Gebiet negative Versuchsergebnisse vor. Der dänische Forscher A l b r e c h t s e n (1) führte in jüngster Zeit den Nachweis, daß keine Korrelation zwischen Luftionenkonzentration und Wohlbefinden des Menschen besteht.

Unser Ergebnis ist mit den Versuchsergebnissen anderer Autoren nur sehr schwer vergleichbar, da Unterschiede sowohl in Bezug auf den Meßparameter als auch auf den Versuchsaufbau bestehen. Am ehesten ist ein Vergleich mit B a c h m a n n (8) möglich, der ebenfalls die Motilität von Labormäusen unter Ioneneinfluß gemessen hat, aber im Gegensatz zu uns eine Steigerung feststellte. Allerdings bediente er sich einer anderen Registrierungstechnik.

Es ist wahrscheinlich, daß in der Vergangenheit die Bedeutung der Luftionen überschätzt wurde, was einleuchtet, wenn man die quantitativ kleine Komponente der Luftionen im Vergleich zu den anderen luftelektrischen Faktoren sieht. Eine Interpretation der Arbeit im Sinne von A l b r e c h t s e n liegt daher nahe. Da die vorliegende Arbeit die Klärung einer primär bioklimatologischen Fragestellung zum Ziel hatte, müssen aufgrund der relativ schnellen luftelektrischen Zustandsänderungen in der Natur kurzfristige Einwirkungen postuliert werden. Deshalb applizierten wir bei all unseren Versuchen die Ionen nur über einen Zeitraum von 24 Stunden.

Theoretisch denkbar wäre aber auch die Möglichkeit, daß eine längerandauernde Einwirkungszeit von Luftionen doch zu physiologischen Veränderungen führt.

Von einigen Wissenschaftlern (z.B. K ö n i g und A n k e r - m ü l l e r (36)) wird die evolutionstheoretische Bedeutung der elektromagnetischen Wellen des VLF - und ELF - Bereiches immer wieder betont. Man könnte sich solch eine Deutung auch in Bezug auf hypothetische Ionenwirkungen vorstellen: Die von uns benutzten kommerziellen Ionengeneratoren erzeugten Konzentrationen zwischen 10^4 und 10^6 Ionen/cm³, welche zudem unipolar sind und damit nicht den natürlichen Verhältnissen entsprechen: In der Natur werden Konzentrationen zwischen mehreren 100 und wenigen 1000 Ionen/cm³ beider Polaritäten, mit jeweils nur geringen Abweichungen von der neutralen Ladungsbilanz gemessen. Der hohe Ionenoutput der Geräte stellt eine unphysiologische Größe dar, von der es denkbar wäre, daß der Organismus nichts mit ihr anzufangen weiß, da er im Verlauf der Entwicklung mit derartigen Konzentrationen nicht konfrontiert worden ist. Dementsprechend sind Analogieschlüsse zwischen der Wirkung natürlicher und künstlicher Ionenkonzentrationen nur bedingt möglich. Sehr interessant wäre eine Untersuchung mit den in der Natur vorkommenden Ionenkonzentrationen. Man sollte aber annehmen, daß eine größere Menge der natürlich vorkommenden Luftionen auch eine stärkere und damit über die Motilität meßbaren Reaktion hervorruft. Dem steht einschränkend die in der Biochemie und Pharmakologie gemachte Erfahrung entgegen, daß die vermehrte Bereitstellung eines Substrates nicht immer eine entsprechend größere Wirkung zur Folge hat.

Auf der anderen Seite erscheint der hohe Ionenoutput der kommerziellen Generatoren wiederum relativ gering, wenn man berücksichtigt, welche kleine Ladungsmengen in den Organismus gebracht werden, setzt man diese in Relation zu den vergleichsweise großen elektrischen Ladungsverschiebungen bei vielen normalen Körperfunktionen, wie z.B. der Erregungsleitung (D i r n a g l (17)).

Es ergibt sich aus unseren Ergebnissen und Überlegungen eine Anzahl neuer Versuchsansätze, welche einer Überprüfung wert sind. Aufgrund unserer Versuche ist sicherlich bereits der Schluß erlaubt, daß die Bedeutung der Kleinionen in der Luft für das Tier und möglicherweise auch für den Menschen zu hoch bewertet wurde. Noch nicht gänzlich geklärt ist die Frage, inwieweit Ionen doch indirekt durch einen gewissen luftreinigenden Effekt (75) einen Beitrag zur Befindensverbesserung leisten können, z.B. bei Asthmatikern. Hierbei würde es sich jedoch um einen physikalischen und nicht direkt physiologischen Wirkungsmechanismus handeln, wie er bisher von vielen Autoren angenommen wird.

9. Zusammenfassung

An weißen Labormäusen sollte geprüft werden, ob bestimmte Konzentrationen positiver oder negativer Luftionen einen meßbaren biologischen Einfluß haben. Als Meßparameter wurde die motorische Aktivität (= Motilität) gewählt.

In einer speziell entwickelten Versuchsanordnung wurden die Bewegungsimpulse automatisch stündlich hochgezählt und auf Datenträger registriert. Aus mehrtägigen Versuchen (10-15 Tage) wurden über eine Mittelung der Stundenwerte Tagesprofile der Motilität erstellt. Diese wurden mit den unter Ioneneinfluß gemessenen Tagesprofilen verglichen.

Ergebnisse:

1. Es wird zunächst eine kritische Übersicht der bestehenden experimentellen Ionenliteratur gegeben. In diesem Zusammenhang wird festgestellt, daß die biologische Relevanz von Luftionen nicht als erwiesen gelten kann.
2. Im Vorversuch erhöhte ein elektrischer Ionengenerator die Motilität um 26%. Nach Ausschaltung von Störfaktoren wurde die Motilität durch Konzentrationen von 4×10^4 Negativionen /cm³ nicht beeinflusst.
3. Die durch einen Tritium-Ionengenerator erzeugten negativen Ionen in der Konzentration von 4×10^4 Ionen/cm³ beeinflussten die Motilität ebenfalls nicht.
4. Auch durch den Tritium-Generator erzeugte Ionen positiver Polarität hatten auf die Motilität keinen Einfluß.
5. Verschiedene Änderungen im Versuchsaufbau führten zu keinen anderen Erkenntnissen.

10. Summary

By means of testing the reactional behavior of white laboratory mice it was evaluated whether definite concentrations of positive or negative small air-ions cause biological effects. Motor activity (motility) has been chosen as a useful parameter.

A specially developed impuls-counting-unit has been described. Impulses, caused by motor activity, were accumulated automatically per hour and registered on data carrier. Average daily profiles of motor activity were compiled from the hourly mean values of control trials of several day's duration (10-15 days). These profiles were compared with profiles under the influence of high levels of artificial unipolar air-ions.

Results:

1. At first, a critical review of literature is given. It has been demonstrated, that the biological efficiency of air-ions cannot be taken as evident.
2. In a pre-test, the motility of mice increased under the influence of an electrical ion-generator (+ 26%). After elimination of several disturbing factors no influence of 4×10^4 ions/cm³ have been registered.
3. Negative ions (4×10^4 /cm³), generated by a tritium-ion-generator, did not influence the motility of mice.
4. Positive ions (4×10^4 /cm³) - produced by the same generator - did not influence the motility of mice.
5. Some changes in the experimental design had no influence in the negative results.

11. Literaturverzeichnis

1 Albrechtsen O.

Untersuchung über den Einfluß von Kleinionen in der Luft
auf das Wohlbefinden und die mentalen Prästationen des
Menschen

Kongress München, "Wirkung luftelektrischer und elektro-
magnetischer Faktoren" (1976)

2 Altmann G.

Die physiologische Wirkung elektrischer Felder auf
Organismen

Arch. Met. Geoph. Bio., 13.17 (1969) 269

3 Altmann G. und Warnecke U.

Einfluß unipolar geladener Luftionen auf die motorische
Aktivität der Honigbienen

Apidologie 2.4 (1971) 309

4 Andersen I.

The effect of ionized air on ciliary activity in trachea
Biometeor. 4, S.W. Tromp and W.H. Weihe (ed.). Suppl. to
14.2 (1969) 135

5 Aschkinass E. und Caspari W.

Über den Einfluß dissoziierter Strahlen auf organisierte
Substanzen, insbesondere über die bakterienschädigende
Wirkung der Becquerel-Strahlen

Arch. f. d. ges. Physiol., 86 (1901) 603

- 6 Assael A., Pfeifer Y. and Sulman F.G.
Influence of artificial air ionisation on the human
electroencephalogram
Int. J. Biometeor., 10 (1974) 306
- 7 Bachmann C.H., McDonald R.D. and Lorenz P.J.
Some physiological effects of measured air ions
Int. J. Biometeor., 9 (1965) 127
- 8 Bachmann C.H., McDonald R.D. and Lorenz P.J.
Some effects of air ions on the activity of rats
Int. J. Biometeor., 10 (1966) 39
- 9 Beischer D.E.
The null magnetic field as reference for the study of
geomagnetic directional effects in animals and man
Ann Ny Acad. SCI, 188 (1971) 324
- 10 Bertholon A.
De l'électricité du corps humain dans l'état de santé
et de maladie. Ouvrage couronnée par l'academie de Lyon,
dans lequel on traite de l'électricité de l'atmosphère
de son influence et de ses effets sur l'économie animale
Paris P.F. Didot le jeune 12 (1780)
- 11 Bisa K.
Die respiratorische Bilanz der elektrischen Raumladungs-
dichte und Ladung der Körperoberflächen bei der Inhalation
Zeit. f. Aerosol-Forsch., 6 (1957) 129

12 Bisa K.

Die Belastung des Organismus durch Aerosole und erhöhte
Luftionisationszustände

Zeit. f. Aerosol-Forsch., 3 (1954) 74

13 Caspari W.

Beobachtungen über Elektrizitätszerstreuung in verschied-
enen Bergeshöhlen

Phys. Zeit., 3 (1902) 521

14 Deleanu M., Frits T. et Florea E.

L'action de l'air ionisée dans le traitement des ulcères
gastro-duodénaux. (Données expérimentales chez le rat et
essais cliniques)

Int. J. Biometeor., 9 (1965) 161

15 Deleanu M., Dudos S. und Florea E.

Wandlungen des Blutdrucks bei jugendlichen Blutdruckkrank-
en und Einwirkungen von negativer Luftionentherapie

Arch. Phys. Ther., 21 (1969) 185

16 Dessauer F., Wolodkewitsch N., Janitzky P. u.a.

Zehn Jahre Forschung auf dem Physik.-Med. Grenzgebiet
Leipzig, Thieme, (1931)

17 Dirnagl K.

Stellungnahme zu den prophylaktischen und therapeutischen
Wirkungsmöglichkeiten der Geräte zur künstlichen Erzeu-
gung von elektrischen Gleichstromfeldern oder Luftionen
Inst. f. Med. Balneologie und Klimatologie der Universi-
tät München, (1974) unveröffentl.

- 18 Edström G.
Der Einfluß unipolar beladener Luft auf die Chronaxie
motorischer Nerven
Zeit. f. d. ges. physikal. Ther., 42 (1932) 232
- 19 Eichmeier J.
Über den bioklimatischen Einfluß künstlich erzeugter
atmosphärischer Kleinionen auf die Atmungsfrequenz, die
Pulsfrequenz und den kortikalen Alphasrhythmus d. Menschen
Elektromedizin 8 (1963) 1
- 20 Eichmeier J.
Eigenschaften und biologische Wirkungen atmosphärischer
Kleinionen
Umschau, 64 (1964) 420
- 21 Eichmeier J.
Wirkungen atmosphärischer Ionen auf Bio-Rhythmen bei
Menschen
Physikal.-Diät. Ther., 5 (1964) 1
- 22 Eichmeier J.
Investigation of the possible influence of atmospheric
ions on human reaction time
Final Tech. Report (1960), U.S. Contract No. DA-91-581
- 23 Elster J. und Geitel H.
Über die Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre
Terrest. Magazin, 4 (1899) 245

24 Findeisen W.

Über das Absetzen kleiner, in der Luft suspendierter
Teilchen in der menschlichen Lunge bei der Atmung
Pflug. Arch., 236 (1935) 367

25 Fischer G.

Die bioklimatische Bedeutung des elektrostatischen Gleich-
feldes
Zb. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig., 157 (1973) 115

26 Gilbert G.

Effect of negative air ions upon emotionality and brain
Serotonin levels in isolated rats
Int. J. Biometeor., 17 (1973) 267

27 Haine E.

Nehmen luftelektrische Faktoren Einfluß auf die Aktivitäts-
wechsel kleiner Insekten, insbesondere auf die Häutungs-
und Reproduktionszahlen von Blattläusen?
Forsch.-Bericht d. Landes Nordrhein-Westfalen H.914 (1969)

28 Hicks W.

Air ion generation, speration, metering and physiological
effects
J. of the Franklin Inst., 261 (1956) 2o8

29 Isräel H.

Atmosphärische Elektrizität
Akad. Verl., Leipzig (1957)

- 30 Jenny E., Oehler A. und Stauffer H.

Experimentelle Untersuchungen über biologische Wirkungen
der sogenannten Erdstrahlen

Schweiz. Med. Wochenschrift, 39 (1935) 38

- 31 Kirchhof W.

Grundlagen für Entwurf und Konstruktion eines Gerätes zur
automatischen Registrierung der atmosphärischen Ozonkonz.

Dipl. Arbeit, Inst. f. Tech. Elektronik, TU München (1959)

- 32 Kirchvogel A.B.

De natura electricitatis aereae

Abhandlung von der Wirkung der Luftelektrizität in dem
menschlichen Körper

Verlag Chur - Lindau (1770)

- 33 Knoll M.J., Rheinsteinst J., Leonard G.F. und Highberg P.F.

Influence of light air ions on human visual reaction time

IRE transaction on Biomedical electronics , 8 (1961) 239

- 34 König H.L.

Unsichtbare Umwelt

H. Moos Verlag, München (1975)

- 35 König H.L. und Ankermüller F.

Über den Einfluß besonders niederfrequenter elektrischer
Vorgänge in der Atmosphäre auf den Menschen

Naturw., 47 (1960) 486

36 Kraus W.

Zur Biophysik der Knochenbruch- und Wundbehandlung durch funktionelle elektrische und magnetische Potentiale
Langenbecks Arch. Chr. 357, Kongressbericht (1974)

37 Kröling P.

Das Motilitäts-Tagesprofil von Labormäusen unter der Einwirkung elektrischer Felder, magnetischer Felder und von Luftionen

Vortrag, Sept. 1976, München

38 Kröling P., Dirnagl K., Praml G.

Das Motilitätsprofil von Mäusen als Indikator für schwache physikalische und chemische Effekte. - Eine automatische Methode für Langzeituntersuchungen.

Forsch.-Bericht aus dem Inst. f. Med. Balneologie und Klimatologie der Universität München (1975)

39 Krueger A.P., Andriese P.C. and Kotaka S.

The effects of inhaling non-ionized or positively ionized air containing 2-4% CO₂ on the blood levels of 5-Hydroxytryptamine in mice

Int. J. Biometeor., 10 (1966) 17

40 Krueger A.P. and Kotaka S.

The effects of air ions on brain levels of Serotonin in mice

Int. J. Biometeor., 13 (1969) 25

41 Krueger A.P., Kotaka S., Ried E.J. and Turner S.

The effects of air ions on bacterial and viral pneumonie in mice

Int. J. Biometeor., 14 (1970) 247

- 42 Krueger A.P., Kotaka S. and Ried E.J.
The course of experimental influence in mice maintained
in high concentrations of small negative air ions
Int. J. Biometeor., 15 (1971) 5
- 43 Krueger A.P. and Ried E.J.
Effects of air ions environment on influenza in the mouse
Int. J. Biometeor., 16 (1972) 209
- 44 Krueger A.P.
Are air ions biologically significant? A review of a con-
troversial subject
Int. J. Biometeor., 16 (1972) 313
- 45 Krueger A.P., Kotaka S., Nishizawa K., Kogure Y. u.a.
Air ion effects on the growth of the Silkworm
Int. J. Biometeor., 10 (1966) 29
- 46 Krueger A.P. and Smith R.F.
The effect of air ions on the living mammalian trachea
J. Gen. Physiol., 42 (1958) 69
- 47 Krueger A.P. and Ried E.J.
A study of the biological effects of certain ELF electro-
magnetic fields
Int. J. Biometeor., 19 (1975) 194
- 48 Krueger A.P. and Smith R.F.
An enzymatic basis for the acceleration of ciliary activi-
ty by negative air ions
Nature, 183 (1959) 1332

- 49 Krueger A.P. and Smith R.F.
Biological mechanisms of air ion action
J. Gen. Physiol., 43 (1960) 533
- 50 Laboratoire de la Commission d'études pratiques des Sous-
-Marins: Guillerm, Badré et Razouls
Effets des ions légers atmosphériques (source au tritium
"Ionaire") sur l'activité ciliaire de la muqueuse de mouton
et de lapin in vitro
Etude No. B. 17 Lab.- Rapport No.3 (1972)
- 51 Lang S.
Untersuchungen über die verhaltensphysiologischen und stoff-
wechselphysiologischen Auswirkungen der faradayschen Ab-
schirmung und künstlicher luftelektrischer Gleich- und
Wechselfelder auf weiße Mäuse
Diss. Math. Nat. Fak. Universität Saarbrücken (1970)
- 52 Miura T.
The biological effect of air ions in room air
Int. J. Biometeor., 16 (1972) 304
- 53 Nollet A.
Eclaircissements sur plusieurs fait courcernant l'électri-
cité. Quatrième mémoire. Des effets de la vertu électrique
sur les corps organisés. Mémoires de l'academie Royal des
Sciences
Année 1748; Paris (1752) 164
- 54 Olivereau J.M.
Influence de l'aéroionisation sur l'hypophyse du rat albino
Annales d'endocrinologie (Paris) 30 (1969) 776

- 55 Oliverreau J.M.

Influence des ions atmospheriques negatifs sur l'adaptati-
on à une situation anxiogène chez le rat
Int. J. Biometeor., 17 (1973) 227

- 56 Persinger M.A., Lafreniere G.F. and Meinprize D.N.

Human reaction time variability changes from low intensity
3 Hz and 10 Hz electric fields: Interactions with stimulus
pattern, sex and field intensity
Int. J. Biometeor., 19 (1975) 56

- 57 Poggrund P.S.

Biologic synergisms in rats produced by carbon monoxide
and positive ions
Int. J. Biometeor., 13 (1969) 123

- 58 Praml G.

Entwurf und Aufbau einer Anlage zur Messung und EDV-gerechten
Registrierung der Motilität von Versuchstieren
Dipl. Arbeit Inst. f. Tech. Elektronik, TU München (1975)

- 59 Reiter R.

Meteorbiologie und Elektrizität der Atmosphäre
Akad. Verl. Leipzig (1960)

- 60 Rheinstein J.

Der Einfluß von künstlich erzeugten atmosphärischen Ionen
auf die einfache Reaktionszeit und auf den optischen Moment
Diss. Tech. Universität, München (1960)

- 61 Schley P.
Einfluß künstlich erzeugter Ionen etc.
Dtsch. Tierärztl. Wochenschrift, 79 (1972) 662
- 62 Schorer G.
Über den Elektrizitätsgehalt der Luft und dessen Einfluß
auf wetterempfindliche Menschen
Schweiz. Med. Wochenschrift, 82 (1952) 350
- 63 Siksna R. und Lindsay R.
Air ions produced by a Tritium generator. I. Ion Generations
Arch. Geophysik, 3 (1959) 123
- 64 Strauss H., Deleanu M. und Pop R.
Die Wirkung negativer Luftionisation auf die Länge des
Oestruszyklus bei Ratten
Int. J. Biometeor., 14 (1970) 371
- 65 Struppler A. und Friedrich H.
Der Einfluß künstlich erzeugter negativer Ionen auf den
Achillessehnenreflex des Menschen
Zeit. ges. exp. Med., 150 (1969) 170
- 66 Sulman F.G., Pfeifer Y., Shalita B. und Tal E.
Air sterilisation: Influence og negative ionisation on
bacterial counts on agar plates exposed to air
RCS, 2 (1974) 1452
- 67 Sulman F.G. and Davon A.
Ionizing effect of winds of ill reput on Serotonin metabolism
Biometeor. 4, S.W. Tromp and W.H. Weihe (ed.) Suppl. to
14 (1969) Part 2

- 68 Terry R.A., Harden D.G. and Maygasi A.M.

Effects of air ions, noise, sex and age on maze learning
in rats

Int. J. Biometeor., 13 (1969) 39

- 69 Tschijewsky A.

Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß ionisierter
Luft auf die Lungentuberkulose

Giorn. Physiol., 8 (1930) 62

- 70 Tschijewsky A.

Die Wege des Eindringens von Luftionen in den Organismus
und die physiologische Wirkung von Luftionen

Acta med. Scand., 83 (1934) 219

- 71 Varga A.

Wirkung von Luftionen auf die Herzfrequenz

Umschau, 68 (1968) 152

- 72 Varga A.

Forschungsbericht über die physiologische Wirkung von

Luftionen und deren Bedeutung als Umweltfaktoren

Elektro-Bioklimatische Forschungsstelle des Hygiene Inst.
der Universität Heidelberg (1972)

- 73 Vasiliev L.L.

Atmospheric ions and health

Punkab Med. Journal, 7 (1958) 270

74 Vasiliev L.L.

Theory and practice of treatment with ionized air
Leningrad State University, (1953)

75 Wanner H.U.

Untersuchungen über den Einfluß von Luftionen auf Verun-
reinigungen der Raumluft
Chem. Rundschau, 28 (1975) 23

Herrn Prof. Dr. med. H. D r e x e l und
Herrn Prof. Dr. med. vet. J. K a l i c h danke ich für die
freundliche Überlassung des Themas dieser Arbeit.

Besonders gedankt sei Herrn Dr. med. P. K r ö l i n g für
seine Unterstützung bei der Durchführung der gesamten
Arbeit, im weiteren Herrn Dipl. Phys. K. D i r n a g l,
Herrn Dipl. Ing. G. P r a m l , sowie allen Mitarbeitern
des Balneologischen Instituts der Universität München.

Lebenslauf

Renate Elsser

Geburtsdatum: 11. September 1950

Geburtsort: Gaildorf (Baden - Württemberg)

Vater: Otto Elsser, Kaufmann

Mutter: Hilde Elsser, geb. Laun

Volksschule: 1957 - 1961

Gymnasium: 1961 - 1967 Gymnasium Gaildorf
1967 - 1970 Wirtschaftsgymnasium
Schwäb. Gmünd

Abitur: Juli 1970

Studium: Sommersemester 1971 bis Wintersemester 1974
Veterinärmedizin an der FU Berlin
ab dem Wintersemester 1974 bis Studien-
abschluß an der Universität München

Vorphysikum: WS 1972/73

Physikum: WS 1973/74

Abschluß des Staatsexamens: Mai 1976

